



TUGAS AKHIR – RC 14 -1501

**EVALUASI KESELAMATAN OPERASIONAL
PENERBANGAN DAN POTENSI PENAMBAHAN
RUTE DI BANDARA SAM RATULANGI MANADO**

HALIM PRASETYO HUTOMO
NRP. 3111100028

Dosen Pembimbing
Ir. Ervina Ahyudanari ME, Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



TUGAS AKHIR – RC 14 - 1501

**EVALUASI KESELAMATAN OPERASIONAL
PENERBANGAN DAN POTENSI PENAMBAHAN RUTE
DI BANDARA SAM RATULANGI MANADO**

HALIM PRASETYO HUTOMO
NRP. 3111100028

Dosen Pembimbing
Ir. Ervina Ahyudanari ,ME, Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



FINAL PROJECT – RC 14 -1501

**EVALUATION ON FLIGHT OPERATIONAL SAFETY
AND POTENCY OF ADDITIONAL ROUTE AT SAM
RATULANGI AIRPORT MANADO**

HALIM PRASETYO HUTOMO
NRP. 3111100028

Advisor
Ir. Ervina Ahyudanari,ME, Ph.D

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environmental and Geo Engineering
Institute Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

**EVALUASI KESELAMATAN OPERASIONAL
PENERBANGAN DAN POTENSI PENAMBAHAN RUTE
DI BANDARA SAM RATULANGI MANADO**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Reguler Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

HALIM PRASETYO HUTOMO

Nrp. 03111140000028

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Ir. Ervina Ahyudanan, M.E., Ph.D.



**SURABAYA
AGUSTUS, 2018**

EVALUASI KESELAMATAN OPERASIONAL PENERBANGAN DAN POTENSI PENAMBAHAN RUTE DI BANDARA SAM RATULANGI MANADO

Nama Mahasiswa : Halim Prasetyo Hutomo
NRP : 0311110000028
Departemen : Teknik Sipil FTSLK - ITS
Dosen Pembimbing: Ir. Ervina Ahyudanari ME, Ph.D

Abstrak

Bandar Udara sebagai gerbang suatu daerah yang menghubungkan satu daerah dengan daerah lain menawarkan transportasi udara yang merupakan sarana transportasi dengan efektivitas dan efisiensi waktu yang lebih baik. Bandar Udara Sam Ratulangi merupakan bandar udara yang memegang peranan penting dalam pergerakan dan pertumbuhan ekonomi, serta merupakan salah satu pintu gerbang menuju Indonesia Timur umumnya dan gerbang menuju Provinsi Sulawesi Utara pada khususnya. Bandara Sam Ratulangi berlokasi di Kota Manado.

Sejak Juli 2016 di buka rute penerbangan langsung dari Manado ke Tiongkok. Hal ini ternyata meningkatkan kunjungan wisatawan mancanegara ke Manado. Penerbangan langsung ke negara asal turis memerlukan pesawat dengan ukuran yang besar. Sehingga, perlu diperhatikan keselamatan operasi penerbangan akibat pergerakan pesawat terkait terbatasnya ruang udara.

Evaluasi yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini adalah evaluasi panjang dan lebar runway, evaluasi kawasan keselamatan operasi penerbangan bandara terhadap topografi. Selain itu juga dilakukan evaluasi kapasitas dan berat masing – masing pesawat terbang yang beroperasi terhadap ruang udara yang tersedia, dalam hal ini berkaitan juga dengan jarak tempuh pesawat dan panjang runway yang tersedia, serta konsumsi bahan bakar dan payload pesawat.

Terdapat 4 kesimpulan dalam Tugas Akhir ini. Pertama, Bahwa untuk pesawat kritis yang beroperasi Boeing 737 – 900, runway Bandara Sam Ratulangi masih memenuhi dimana TORA boeing 737 – 900 adalah 2580m sedangkan panjang runway Bandara Sam Ratulangi 2650 m. Kedua, untuk evaluasi KKOP terhadap topografi bandara, pada potongan memanjang topografi bandara masih memenuhi standar KKOP. Namun pada potongan melintang, terdapat topografi dimana ketinggiannya melebihi KKOP bandara. Ketiga, pola pergerakan pesawat Boeing 737 – 900 tidak mengalami gangguan saat melakukan lift off. Sehingga untuk pola pergerakan selanjutnya dan pesawat lainnya juga tidak terjadi gangguan keselamatan penerbangan.

Untuk jarak tempuh optimum pesawat Boeing 737 – 900 ialah 3544 km atau 1920 nautical miles dan pesawat ini dapat membuka rute potensial baru dari Manado ke Bandara Jeju di Korea Selatan, Port Hedland Australia, Taoyuan Taiwan Ninoy Aquino Philipina Bandara Internasional Kuala Lumpur dimana rute – rute tersebut ialah rute ke negara yang wisatawananya cukup banyak berkunjung ke Manado. Diharapkan dengan adanya rute baru penerbangan langsung ini dapat mendongkrak jumlah wisatawan seperti yang telah diterapkan untuk rute penerbangan langsung Manado – Tiongkok.

Kata Kunci :Bandara Sam Ratulangi, Keselamatan Operasional Penerbangan, Potensi Rute Penerbangan.

EVALUATION ON FLIGHT OPERATIONAL SAFETY AND POTENCY OF ADDITIONAL ROUTE AT SAM RATULANGI AIRPORT MANADO

Name : Halim Prasetyo Hutomo
NRP : 0311110000028
Departement : Teknik Sipil FTSLK - ITS
Advisor : Ir. Ervina Ahyudanari ME, Ph.D

Abstrack

Airport as a gate of a city that connects a city to another, offers air transportation which a transportation that gives better efectivy and effisiensiency than other transportation. Sam Ratulangi Airport is an airport that hold important role of economy development. It is also one of gates of East Indonesia basically and Nort Sulawesi specially. Sam Ratulangi Airport place on Manado City.

Since July 2016, there is direct flight from Manado to Tiongkok. This Direct flight make tourist from Tiongkok increase. Direct flight to a country where the tourist come from, needs bigger aircraft. So ,it is neccesary to pay attention flight operational safety because of aircraft movement related air space limitation.

The evaluations on this final project are evaluation on length and width of runway, evaluation of flight operation safety area related to topography. And also, evaluation of weight and capacity of each aircraft that operate in Sam Ratulangi Airport related to air space available, it is related to mileage of an aircraft and runway lenght, and also fuel consumption and payload of an aircraft.

There are 4 conclusions in this Final Project. First, Boeing 737 – 900 as the biggest aircraft that operate on this airport, it has take off run available (TORA) 2580 m. Which, runway of Sam Ratulangi runway lenght is 2650 m. So, Sam Ratulangi runway lenght is still on limit of requirement. Second,

the evaluation of flight operation safety area related to topography, on topography elongated section, it is still on requirement. But on topography tranverse section, there are some topography which has elevation that higher than boundary of flight operation safety area. Third, the evaluation of movement pattern of Boeing 737 – 900, there isn't any interference for aircraft when lift off. So, there is no any interference of flight operational safety for the next movement pattern of aircraft.

Optimum range of Boeing 737 – 900 is 3544 kms or 1920 nautical miles. So, this aircraft can open potency of additional route from Manado to Jeju Airport in South Korea, Port Hedland Airport in Australy, Taoyuan Airport in Taiwan, Ninoy Aquino in Philiphine, and Kuala Lumpur International Airport in Malaysia where those route have many tourists that used to visits Manado. Hopefully, the potency of additional route can increase numbers of foreign tourists which is it has been applied for direct flight from Manado to Tiongkok.

Keywords : Sam Ratulangi Airport, Flight Operational Safety Area, Potency of Additional Route.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir “*Evaluasi Keselamatan Operasional Penerbangan di Bandara Sam Ratulangi Manado*”. Tugas Akhir ini disusun penulis dalam rangka memenuhi salah satu syarat kelulusan di Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama proses pengerjaan tugas akhir ini, Penulis mendapatkan banyak bimbingan, dukungan, bantuan, dan do’a dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kasih sayang, dan kesempatan agar penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Sugiyanto dan Ibu Noor Hayati selaku orang tua serta keluarga yang selalu menjadi alas an utama bagi penulis untuk selalu bertahan dan semangat dalam nyelesaikan Tugas Akhir dan menggapai mimpi dan cita penulis.
3. Ir. Ervina Ahyudanari, ME, PhD, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu sabar, perhatian dan sepenuh hati membimbing, mengarahkan, memberi saran, dukungan dan nasihat untuk penulis.
4. Prof. Priyo Suprobo selaku dosen wali penulis yang telah memberi arahan, petunjuk dan nasihat kepada penulis.
5. Seluruh dosen pengajar di Departemen Teknik Sipil ITS atas ilmu, nasihat dan waktunya yang telah diberikan.
6. Sahabat-sahabat saya yang sering menemani lembur selama pengerjaan Tugas Akhir penulis.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kesalahan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik agar lebih baik lagi di masa mendatang.

Surabaya, Agustus 2018
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL BAHASA INDONESIA	i
HALAMAN JUDUL BAHASA INGGRIS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	6
1.3. Batasan Masalah.....	7
1.4. Tujuan.....	7
1.5. Manfaat.....	8
1.6. Lokasi Studi.....	8
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 9
2.1. Umum.....	9
2.2. Bandar Udara.....	9
2.3. Landas Pacu (<i>Runway</i>)	10
2.4. Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan.....	19
2.5. Topografi	27
2.6. Pola Pergerakan Pesawat.....	30
2.7. Variasi Berat Pesawat.....	33
 BAB III METODOLOGI.....	 37
3.1. Umum.....	37
3.2. Tahap Pengerjaan.....	37

3.3. Tahap Identifikasi Masalah	38
3.4. Tahap Studi Literatur	38
3.5. Tahap Pengumpulan Data Sekunder	40
3.6. Tahap Analisis Data	40
3.3. Diagram Alir Metodologi.....	55
3.7. Hasil Analisis	44
3.8. Diagram Alir Metodologi	45

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum	47
4.2. Analisis Panjang dan Lebar <i>Runway</i>	47
4.3. Analisis Kesesuaian KKOP dengan Topografi.....	51
4.4. Analisis Pola Perherakan Pesawat	69
4.5. Pengaruh Berat Pesawat terhadap Ruang Udara.....	76
4.6. Penentuan Potensi Rute Tambahan.....	81

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.....	97
5.2. Saran.....	99

DAFTAR PUSTAKA.....	100
---------------------	-----

BIODATA PENULIS.....	103
----------------------	-----

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Jumlah pengunjung wisatawan mancanegara.....	3
Gambar 1.2. Urutan Presentase sepuluh besar negara asal wisatawan mancanegara.....	5
Gambar 1.3. Lokasi Bandara Sam Ratulangi Manado	8
Gambar 1.4. Lokasi Bandara Sam Ratulangi Manado dari Kota Manado	8
Gambar 2.1. Ukuran sistem <i>runway</i>	12
Gambar 2.2. <i>Object free zone dimension</i>	14
Gambar 2.3. Kawasan pendekatan lepas landas	20
Gambar 2.4. Kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan	21
Gambar 2.5. Kawasan di bawah permukaan horizontal dalam	22
Gambar 2.6. Kawasan di bawah permukaan horizontal luar ...	23
Gambar 2.7. Kawasan di bawah permukaan kerucut	24
Gambar 2.8. Berbagai penampakan kontur	28
Gambar 2.9. Profil permukaan lahan	28
Gambar 2.10. Pemotongan garis kontur	29
Gambar 2.11. Potongan yang menunjukkan intervisibilitas	29
Gambar 2.12. Contoh pola pergerakan pesawat	30
Gambar 2.13. Grafik <i>angle of attack</i>	31
Gambar 3.1. Gerbang depan Bandara Sam Ratulangi	38
Gambar 3.2. Kondisi Terminal Bandara Sam Ratulangi	38
Gambar 3.3. Kondisi <i>apron</i> Bandara Sam Ratulangi	38
Gambar 3.4. Lokasi Bandara Sam Ratulangi	42
Gambar 3.5. Penempatan KKOP pada topografi	42
Gambar 3.6. Profil ketinggian topografi	43
Gambar 3.7. Contoh pola pergerakan pesawat	43
Gambar 3.8. Pesawat dengan jarak ijin terhadap topografi	44
Gambar 3.9. Diagram alir metode tugas akhir	45
Gambar 4.1. Kawasan pendekatan lepas landas	54

Gambar 4.2. Kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan	55
Gambar 4.3. Kawasan dibawah permukaan horizontal dalam	56
Gambar 4.4. Kawasan di bawah permukaan horizontal luar ...	57
Gambar 4.5. Kawasan di bawah permukaan kerucut	58
Gambar 4.6. Gambar KKOP	59
Gambar 4.7. Gambar ilustrasi KKOP 3D	59
Gambar 4.8. KKOP terhadap topografi	60
Gambar 4.9. Menentukan Potongan memanang melintang	61
Gambar 4.10. Elevasi Potongan Memanjang	62
Gambar 4.11. Elevasi Potongan Melintang	62
Gambar 4.12. Potongan Memanjang KKOP topografi	63
Gambar 4.13. Potongan Melintang KKOP topografi	63
Gambar 4.14. Lokasi Bangunan yang melebihi batas	66
Gambar 4.15. Ilustrasi Ketinggian Bangunan	67
Gambar 4.16. <i>Flash</i> Boeing 737 - 900	69
Gambar 4.17. Grafik <i>Angle of Attack</i>	73
Gambar 4.18. Topografi <i>runway</i> 18 - 36	75
Gambar 4.19. <i>Lift off</i> Boeing 737 - 900	76
Gambar 4.20. Grafik <i>range dan payload</i> Pesawat	77
Gambar 4.21. Grafik <i>Operational Take off weight</i>	79
Gambar 4.22. Grafik <i>payload, fueal</i> dan jarak operasi	80

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Jumlah pengunjung wisatawan mancanegara.....	4
Tabel 2.1. Standar dimensi <i>runway</i> dalam ft untuk <i>approach</i> kategori pesawat A dan B	15
Tabel 2.2. Standar dimensi <i>runway</i> dalam ft untuk <i>approach</i> kategori pesawat C, D dan E	16
Tabel 2.3. ICAO <i>runway</i> dan standar dimensi <i>runway strip</i> dalam meter	17
Tabel 2.4. Hubungan antara elevasi dan suhu bandara	16
Tabel 2.5. Pengaruh angin terhadap panjang <i>runway</i>	17
Tabel 2.6. Tabel klasifikasi <i>runway</i>	26
Tabel 2.5. Contoh perhitungan berat operasional	33
Tabel 4.1. Jenis dan karakteristik pesawat yang beroperasi	48
Tabel 4.2. Karakteristik pesawat	49
Tabel 4.3. Karakteristik landasan pacu	49
Tabel 4.4. Lebar <i>runway</i> berdasarkan <i>code number</i>	51
Tabel 4.5. Sistem Navigasi Bandara	52
Tabel 4.6. Dimensi KKOP berdasarkan klasifikasi runway	53
Tabel 4.7. Bangunan Tinggi di KKOP	67
Tabel 4.8. Pola pergerakan pesawat Boeing 737 – 900	70
Tabel 4.7. Jumlah pengunjung wisatawan mancanegara provinsi Sulawesi Utara menurut Kebangsaan Bulan Januari 2018	82

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bandar Udara sebagai gerbang suatu daerah yang menghubungkan satu daerah dengan daerah lain menawarkan transportasi udara yang merupakan sarana transportasi dengan efektivitas dan efisiensi waktu yang lebih baik. Bandar Udara Sam Ratulangi merupakan bandar udara yang memegang peranan penting dalam pergerakan dan pertumbuhan ekonomi, serta merupakan salah satu pintu gerbang menuju Indonesia Timur umumnya dan gerbang menuju Provinsi Sulawesi Utara pada khususnya. Bandara Sam Ratulangi berlokasi di Kota Manado.

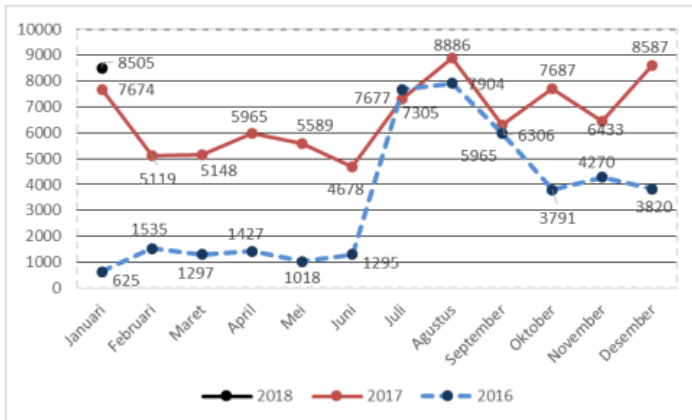
Terdapat 8 maskapai yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi Manado, yaitu Garuda Indonesia, Lion Air, Sriwijaya Air, Wings Air, Citilink, Batik Air, Nam Air dan Silk Air. Dari 8 maskapai tersebut, terdapat 7 jenis pesawat yang beroperasi, yaitu Airbus A 320, Boeing 737 – 900, Boeing 737 – 800, Boeing 737 – 500, Bombardier CRJ – 1000 ER, ATR 42, dan ATR 75. Bandara Sam Ratulangi mampu melayani 20 destinasi, dengan destinasi terjauh adalah Bandara Sam Ratulangi Manado – Bandara Internasional Shanghai Pudong yaitu 1790 *nautical miles* (3.330 km). Sampai saat ini, pesawat terbesar yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi adalah Boeing 737 – 900. Panjang *runway* Sam Ratulangi 2650 m dengan lebar 45 m. Untuk dapat beroperasinya pesawat yang lebih besar dan jarak tempuh yang lebih jauh, dibutuhkan penambahan panjang *runway* sebagai salah satu faktor pendukungnya.

Ditinjau dari letak topografi, Bandara Sam Ratulangi terletak 15 km di sebelah utara dari Kota Manado dengan ketinggian (elevasi) 265 ft dpl (81 m dpl). Secara geografis, Bandara Sam Ratulangi dikelilingi pegunungan, di daerah tenggara terdapat Gunung Klabat dengan ketinggian 6.549 ft, di daerah barat daya terdapat Gunung Soputan dengan ketinggian

4.600 ft, dan di daerah barat terdapat Gunung Manado Tua dengan ketinggian 2.628 ft.

Seiring dengan rencana penambahan rute penerbangan internasional yang membuat jarak tempuh pesawat menjadi lebih jauh serta kemungkinan beroperasinya pesawat yang lebih besar, perlu dievaluasi ulang tentang kesesuaian keselamatan operasional penerbangan di Bandara Sam Ratulangi Manado. Melihat posisi bandara yang dikelilingi oleh pegunungan.

Rencana penambahan rute penerbangan dan pengoperasian pesawat yang lebih besar di Bandara Sam Ratulangi Manado didasari atas meningkat wisatawan mancanegara yang datang ke Manado melalui jalur udara. Beberapa rute penerbangan langsung dari dan ke luar negeri memicu kenaikan jumlah wisatawan mancanegara di Kota Manado. Sebagai contoh, sejak Juli 2016 maskapai Lion Air membuka rute penerbangan langsung dari Manado ke Tiongkok (dan sebaliknya), hal ini membuat wisatawan dari Tiongkok meningkat pesat seperti yang terlihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Jumlah Pengunjung Wisatawan Mancanegara Di Provinsi Sulawesi Utara Bulan Dalam Dua Tahun Terakhir (Orang)

Sumber : BPS Kota Manado, 2018

Pada tahun 2016 jumlah penumpang di bandara Sam Ratulangi sudah mencapai 2.488.662 penumpang domestik dan 96.204 penumpang internasional (Angkasa Pura I, 2017). Sebanyak 422 penerbangan rute internasional mendarat di Bandara Sam Ratulangi Manado sepanjang Januari hingga awal Oktober 2017. Lion Air mendominasi dengan 241 penerbangan, Silk Air 152 penerbangan dan Citylink 6 penerbangan. (Angkasa Pura I, 2017). Pada Juli 2016, jumlah wisatawan asing naik 312,82 persen dari 1.427 menjadi 5.148 orang. Hal ini dikarenakan sejak Juli 2016 terdapat penerbangan langsung Manado – Tiongkok. Secara keseluruhan di tahun 2016, tercatat 61.87 turis ke Sulawesi Utara dengan didominasi wisatawan asing asal Tiongkok (BPS Kota Manado, 2017).

Beroperasinya pesawat dengan rute penerbangan langsung Manado – Tiongkok ini memicu lebih banyak wisatawan mancanegara untuk datang ke Kota Manado. Hal ini membuat maskapai bertujuan untuk membuka rute penerbangan langsung dari Manado ke berbagai kota di penjuru dunia. Dengan rute yang lebih panjang maka tidak menutup kemungkinan beroperasinya pesawat yang lebih besar. Oleh karena itu perlu diketahui karakteristik dan pola pergerakan masing – masing pesawat yang beroperasi untuk menentukan penambahan jarak tempuh optimum pesawat sebagai dasar penambahan rute alternatif baru.

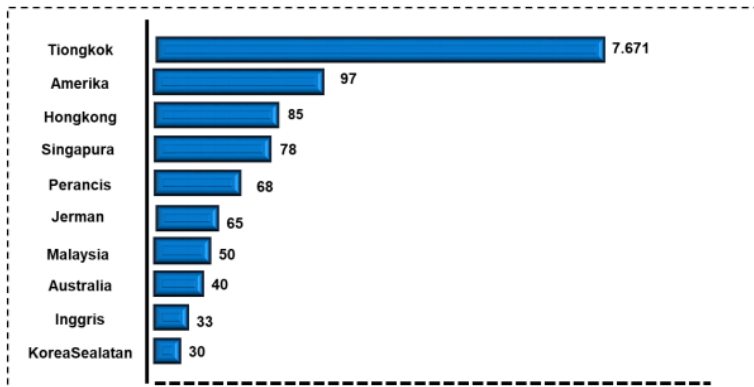
Selain faktor penambahan rute penerbangan langsung, peningkatan dan pengembangan tempat – tempat wisata di Kota Manado juga memicu bertamambahnya wisatawan yang datang. Terdapat 8 obyek wisata alam yang dapat dikunjungi di Manado, diantaranya Taman Nasional Bunaken, Pantai Pasir Putih Siladen, Pendakian Hutan Lindung, Gunung Tumpa, Air Terjun Kima Atas, Kawasan Wisata Pantai Malalaya, dan Hutan Mangrove Tongkeina. Serta terdapat 78 obyek wisata buatan seperti Monumen Lilin, Museum Provinsi, Lapangan golf Kayuatu dan lainnya.

Potensi wisata yang besar ini mengundang para wisatawan domestik maupun dari berbagai penjuru negara untuk datang dan berkunjung ke Kota Manado. Untuk wisatawan mancanegara di bulan Januari 2018 saja, terdapat sekitar 8.500 wisatawan (BPS Kota Manado, 2018). Data jumlah wisatawan mancanegara yang berkunjung ke Kota Manado pada Bulan Januari dapat dilihat pada Tabel 1.1. dan Gambar 1.2. di bawah yang diperoleh dari Bapan Pusat Statistik Kota Manado 2018.

Tabel 1.1. Jumlah Pengunjung Wisatawan Mancanegara Provinsi Sulawesi Utara menurut Kebangsaan Bulan Januari 2018

Kebangsaan	Jumlah Wisman (Orang)	%
Januari 2018		
(1)	(2)	(3)
Tiongkok	7,671	90,19
Amerika	97	1,14
Hongkong	85	1,00
Singapura	78	0,92
Perancis	68	0,80
Jerman	65	0,76
Malaysia	50	0,59
Australia	40	0,47
Inggris	33	0,39
Korea Selatan	30	0,35
Belanda	29	0,34
Philipina	16	0,19
Jepang	15	0,18
Taiwan	9	0,11
India	9	0,11
Rusia	8	0,09
Thailand	-	0,00
Lainnya	202	2,38
Jumlah	8,505	100

Sumber : BPS Kota Manado, 2018



Gambar 1.2. Urutan Persentase Sepuluh Besar Negara Asal Wisatawan Mancanegara Bulan Januari Tahun 2018 (Orang)
Sumber : BPS Kota Manado, 2018

Dari data di atas, dapat dikatakan bahwa Kota Manado mempunyai daya tarik tersendiri bagi wisatawan mancanegara. Hal ini bisa membantu pertumbuhan perekonomian Indonesia pada umumnya dan Provinsi Sulawesi Utara khususnya. Sampai saat ini wisatawan dari Tiongkok, China masih mendominasi dikarenakan adanya rute penerbangan langsung Manado – Tiongkok. Untuk meningkatkan wisatawan dari berbagai penjuru dunia, cara seperti penambahan rute penerbangan langsung memang diperlukan. Oleh karena itu perlu diadakannya analisis tentang potensi penambahan rute yang dapat beroperasi di Bandara Sam Ratulangi Manado.

Potensi wisata yang menuntut adanya pengoperasian pesawat besar untuk penerbangan langsung kemungkinan akan terkendala dengan ruang udara yang tersedia. Kondisi ini memotivasi disusunnya tugas akhir ini untuk menyeimbangkan antara kebutuhan penerbangan dengan ketersediaan infrastruktur yang ada. Sehingga, perlu diperhatikan keselamatan operasional penerbangan akibat pergerakan pesawat terkait dengan terbatasnya ruang udara.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini, antara lain sebagai berikut.

1. Bagaimana kesesuaian panjang dan lebar runway dengan jenis pesawat yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi Manado?
2. Bagaimana kesesuaian Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP) dengan topografi wilayah sekitar Bandara Sam Ratulangi?
3. Bagaimana kesesuaian pola pergerakan masing-masing pesawat yang beroperasi dengan topografi di Bandara Sam Ratulangi?
4. Bagaimana potensi penambahan rute pelayanan penerbangan langsung yang bisa dibuka di bandara Sam Ratulangi Manado?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penulisan Tugas Akhir diperlukan supaya tidak terjadi penyimpangan dalam pembahasan masalah, batasan masalah tersebut antara lain sebagai berikut.

1. Analisis keselamatan yang dilakukan adalah berdasarkan kondisi topografi area sekitar bandara dan tidak meninjau ketinggian gedung. Asumsinya bahwa pendirian gedung sudah mendapatkan izin pertimbangan keselamatan dari pihak bandara.
2. Analisis Tugas Akhir ini tidak memperhitungkan pesawat militer yang ikut beroperasi pada runway bandara.
3. Analisis Tugas Akhir ini tidak memperhitungkan operasional pesawat – pesawat untuk uji kelayakan terbang dari PT. Dirgantara Indonesia
4. Data klimatologi yang digunakan untuk analisis pada tugas akhir ialah data mulai Januari 2011 – Desember 2017.

5. Tugas akhir ini tidak memperhitungkan adanya *crosswind*.
6. Tugas akhir ini tidak mempertimbangkan peta jalur pesawat.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kesesuaian panjang dan lebar runway dengan jenis pesawat yang beroperasi di Bnadara Sam Ratulangi Manado.
2. Mengetahui kesesuaian Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP) dengan topografi wilayah sekitar Bandara Sam Ratulangi.
3. Mengetahui kesesuaian pola pergerakan masing-masing pesawat yang beroperasi dengan topografi di Bandara Sam Ratulangi.
4. Mengetahui potensi penambahan rute pelayanan penerbangan langsung yang bisa dibuka di bandara Sam Ratulangi.

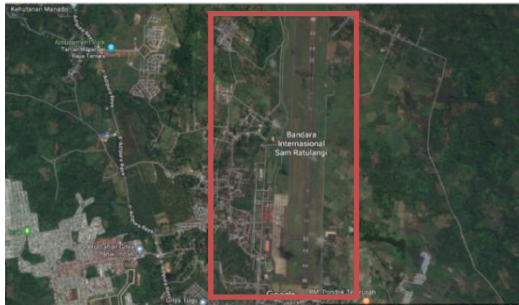
1.5 Manfaat

Manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

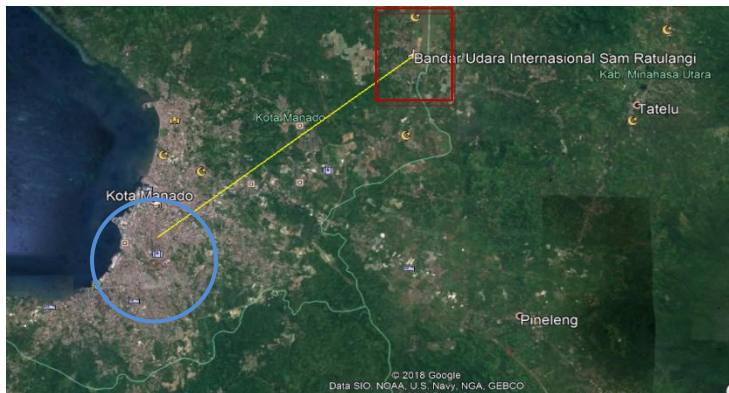
1. Memahami kesesuaian panjang dan lebar runway dengan jenis – jenis pesawat yang beroperasi.
2. Memahami lebih jauh hubungan antara kondisi topografi suatu wilayah dengan batasan operasional suatu bandara.
3. Memberikan gambaran lebih detail tentang aplikasi KKOP dalam perencanaan bandara.
4. Memberikan saran potensi penambahan rute pelayanan penerbangan langsung dari bandara Sam Ratulangi.

1.6 Lokasi Studi

Lokasi studi untuk pengambilan data dilakukan di Bandara Sam Ratulangi, dengan lokasi ditunjukkan oleh gambar 1.3. Di mana jarak bandara dengan pusat Kota Manado adalah 15 km ditunjukkan dalam Gambar 1.4. Serta pengambilan data klimatologi diambil di titik lokasi diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika Kota Manado.



Gambar 1.3. Lokasi Bandara Sam Ratulangi Manado
Sumber : google earth



Gambar 1.4. Lokasi Bandara Sam Ratulangi Manado dari Kota Manado
Sumber : google earth

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Pada Tugas Akhir ini digunakan tinjauan pustaka dari berbagai referensi buku dan peraturan untuk melakukan analisis – analisis yang diperlukan serta guna mencapai tujuan yang diharapkan. Objek yang menjadi fokus dalam hal ini adalah evaluasi keselamatan operasional bandara dan potensi rute tambahan di Bandara Sam Ratulangi Manado.

2.2. Bandar Udara

Bandar udara atau yang sering disebut Bandara memiliki beberapa definisi yang didapat dari beberapa referensi. Bandar udara adalah area tertentu di daratan atau perairan (termasuk bangunan, instalasi dan peralatan) yang diperuntukkan baik secara keseluruhan atau sebagian untuk kedatangan, keberangkatan dan pergerakan pesawat (*Annex 14, ICAO*).

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 70 tahun 2001 tentang Kebandarudaraan, Bandar Udara adalah Lapangan terbang yang dipergunakan untuk mendarat dan lepas landas pesawat udara, dan naik turunnya penumpang atau bongkar muatan kargo atau pos, yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan penerbangan.

Sedangkan definisi menurut PT Angkasa Pura, Bandar Udara adalah Lapangan udara dan termasuk segala bangunan dan peralatan yang merupakan kelengkapan minimal untuk menjamin tersedianya fasilitas bagi angkutan udara untuk masyarakat.

Fungsi Bandara udara adalah sebagai tempat lepas landas, mendarat pesawat udara, dan pergerakan di darat pesawat udara. Disamping itu Bandar udara merupakan simpul dari sistem transportasi udara. Perencanaan, pembangunan dan pengoperasian suatu Bandar udara harus memenuhi ketentuan keselamatan

penerbangan yang secara internasional tercantum dalam *Annex 14 Convention on International Civil Aviation* (Vol I : *Aerodrome* dan Vol II). Ketentuan ini diadopsi dalam ketentuan nasional berupa Keputusan Menteri Perhubungan no. 47 Tahun 2002 tentang Sertifikasi Operasi Bandar udara dan Keputusan Direktur Jendral Perhubungan Udara terkait lainnya.

Fasilitas bandar udara terbagi dalam fasilitas sisi udara (*Air Side*) dan fasilitas sisi darat (*Land Side*). Adapun komponen-komponen dari fasilitas sisi udara (*Air Side*) adalah sebagai berikut (Sinaga,2014):

1. Landas Pacu (*Runway*),
2. Landas Hubung (*Taxiway*),
3. Tempat Parkir Pesawat (*Apron*),
4. Menara Khusus Pemantau (*Air Traffic Control*),
5. Fasilitas Penanggulangan Kecelakaan (*Air Rescue Service*).

Sedangkan untuk fasilitas sisi darat (*Land Side*) adalah sebagai berikut (Sinaga,2014):

1. *Concourse* (Terminal Bandar Udara),
2. *Curb* (Tempat penumpang naik turun dari kendaraan darat ke terminal),
3. *Utility* (Fasilitas listrik, Telepon, dan bahan bakar),
4. Tempat Parkir Kendaraan.

2.3. Landas Pacu (*Runway*)

Landas Pacu (*Runway*) adalah suatu bidang persegi panjang dalam lokasi bandara yang berupa jalur perkerasan yang dipergunakan oleh pesawat terbang untuk mendarat (*landing*) atau lepas landas (*take off*). Pembuatan sebuah landas pacu harus memenuhi persyaratan teknismaupun persyaratan operasional yang telah ditentukan oleh ICAO (*International Civil Aviation Organization*) yang tertuang dalam *Annex 14* dari konvensi Chicago. Dipandang dari aspek keselamatan persyaratan yang bersifat mutlak dan harus dipenuhi dalam perencanaan *runway* suatu Bandara, yaitu :

1. Persyaratan teknis
 - a. Kemiringan memanjang efektif maximum 1%
 - b. Kemiringan melintang efektif maximum 1,5%
 - c. Jarak perubahan antar kemiringan /slope runway, minimum 45m, disarankan jarak direncanakan 100-300 m, agar tidak bergelombang, perubahan kemiringan lebih halus (*smooth*) dan nyaman.
2. Persyaratan operasional
 - a. Sudut pendaratan pesawat udara :
 - 2% untuk pesawat udara jenis jet.
 - 4% untuk pesawat udara jenis baling-baling.
 - b. Bidang transisi (*transisional slope*) :
 - 1:7 untuk pesawat udara jenis jet.
 - 1:5 untuk pesawat udara jenis baling-baling.
 - c. Bidang batas halangan (*obstruction limitation surface*) merupakan ruang udara diatas bandara yang dikontrol.

Faktor dasar perencanaan *runway* berdasarkan ICAO (*International Civil Aviation Organization*) yang tertuang dalam *Annex 14* dari konvensi Chicago adalah sebagai berikut:

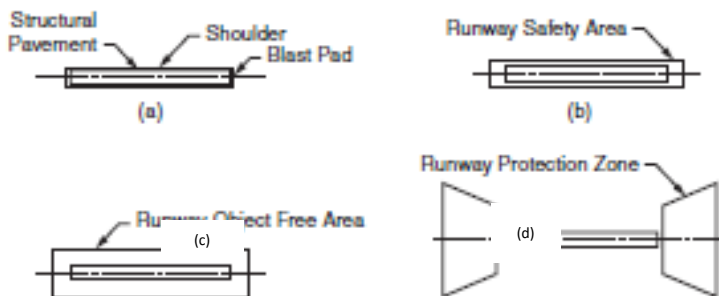
1. *Azimuth* landas pacu guna penulisan nomor landas pacu,
2. Panjang landas pacu,
3. Lebar landas pacu,
4. Perencanaan tebal perkerasan landas pacu,
5. Kemiringan melintang dan memanjang landas pacu,
6. Jenis kekerasan landas pacu,
7. Kekuatan dan daya dukung landas pacu.

Sebagai pemandu untuk perencanaan bandara, FAA juga menerbitkan *Advisory Circular 150/5325-4b "Runway Length Requirements for Airport Design"* tahun 2005. Prosedur yang ditetapkan untuk memperkirakan panjang desain landasan pacu pesawat, berdasarkan *maximum take off weights (MTOW)*, spesifikasi kinerja pesawat tertentu, dan bidang elevasi dan suhu

sekitar bandara. Desain panjang *runway* bandara ditemukan untuk pesawat kritis, didefinisikan sebagai pesawat yang terbang dengan segmen rute nonstop terbesar dari bandara setidaknya 500 operasi per tahun dan membutuhkan *runway* terpanjang. Prosedur untuk memperkirakan panjang landasan pacu menurut *FAA* didasarkan pada data sebagai berikut:

1. Pesawat kritis yang ditunjuk,
2. Berat maksimum *take off (MTOW)* pesawat kritis yang beroperasi pada bandara tersebut,
3. Elevasi bandara,
4. Suhu maksimum rata-rata harian pada bulan dengan suhu tertinggi di bandara,
5. Perbedaan maksimal elevasi sepanjang garis tengah *runway*.

Dalam buku *Planning and Design of Airport*, Horenjeff memaparkan bahwa sistem *runway* di suatu Bandara terdiri dari perkerasan struktur, bahu landasan (*shoulder*), bantal hembusan (*blast pad*) Gambar 2.1 (a), daerah aman *runway* (*runway end safety area*) Gambar 2.1 (b), variasi hambatan dan permukaan bebas (various obstruction-free surface) dapat dilihat pada gambar 2.1 (c), dan daerah perlindungan *runway* (*runway protection zone*) dapat dilihat pada Gambar 2.1. (d) (Horenjeff, 2010).

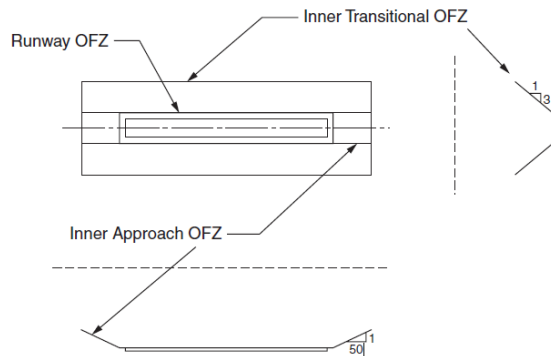


Gambar 2.1 Ukuran sistem *runway*
 Sumber : Horenjeff, 2010

Uraian dari sistem *runway* menurut Horonjeff (2010) adalah sebagai berikut:

1. Perkerasan struktur mendukung pesawat sehubungan dengan beban struktur, kemampuan manuver, kendali, stabilitas dan kriteria dimensi dan operasi lainnya.
2. Bahu landasan (*shoulder*) yang terletak berdekatan dengan pinggir perkerasan struktur menahan erosi hembusan jet dan menampung peralatan untuk pemeliharaan dan keadaan darurat.
3. Bantal hembusan (*blast pad*) adalah suatu daerah yang dirancang untuk mencegah erosi permukaan yang berdekatan dengan ujung-ujung *runway* yang menerima hembusan jet yang terus-menerus atau yang berulang. ICAO menetapkan panjang bantal hembusan 100 feet (30 m), namun dari pengalaman untuk pesawat-pesawat transport sebaiknya 200 feet (60 m), kecuali untuk pesawat berbadan lebar panjang bantal hembusan yang dibutuhkan 400 feet (120 m). Lebar bantal hembusan harus mencakup baik lebar *runway* maupun bahu landasan.
4. Daerah aman *runway* (*runway end safety area*) adalah daerah yang bersih tanpa benda-benda yang mengganggu, diberi drainase, rata dan mencakup perkerasan struktur, bahu landasan, bantal hembusan dan daerah perhentian, apabila disediakan. Daerah ini selain harus mampu untuk mendukung peralatan pemeliharaan dan dalam keadaan darurat juga harus mampu mendukung pesawat seandainya pesawat karena sesuatu hal keluar landasan.
5. Zona bebas objek *runway* (*Object – free area, OFA*) didefinisikan oleh FAA sebagai dua dimensi luas tanah sekitar landasan pacu yang harus bersih dari pesawat parkir dan benda-benda selain yang sudah pasti diletakkan sesuai fungsinya.

6. Zona bebas hambatan *runway* (*Obstacle-free zone*, OFZ) adalah volume yang ditetapkan wilayah udara berpusat di atas landasan yang mendukung transisi antara tanah dan operasi udara. FAA menspesifikasikan ini sebagai wilayah udara di atas permukaan yang elevasinya sama dengan titik terdekat di tengah landasan pacu dan memperluas 200 ft setiap ujung luar landasan. Zona bebas hambatan *runway* (*Obstacle-free zone*, OFZ) pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. *Object-free zone dimension*

Sumber : Horonjeff, 2010

7. Zona dalam pendekatan bebas hambatan (*inner approach obstacle-free zone*), yang hanya berlaku untuk landasan pacu dengan *approach lighting system*, adalah wilayah udara di atas pusat permukaan pada perpanjangan pusat *runway* mulai 200 ft di luar ambang batas landasan pacu pada elevasi sama sebagai ambang landasan pacu dan memperluas 200 ft luar unit cahaya terakhir pada *approach lighting system*. Lebarinya adalah sama dengan zona bebas hambatan *runway* dan lereng ke atas pada perbandingan 50 h : 1 v.

8. Zona dalam transisi bebas hambatan (*inner transitional obstacle-free zone*), yang hanya berlaku untuk landasan pacu instrumen presisi, didefinisikan oleh FAA sebagai volume wilayah udara sepanjang sisi landasan pacu dan inner approach zona bebas hambatan. Lereng permukaan pada tingkat 3 horisontal untuk 1 vertikal keluar dari tepi zona bebas hambatan landasan pacu dan *inner approach* zona bebas hambatan hingga mencapai ketinggian 150 kaki di atas elevasi bandara didirikan.
9. Zona perlindungan *runway* (*Runway Protection Zone*, RPZ) adalah daerah di tanah digunakan untuk meningkatkan perlindungan orang dan objek di dekat pendekatan *runway*.

Pada Tabel 2.1. dan Tabel 2.2. menunjukkan standar dimensi *runway* berdasarkan sumber dari FAA. Sedangkan pada tabel 2.3. merupakan dimensi standar *runway* dan *runway strip* berdasarkan ICAO.

Tabel 2.1. Standard dimensi *runway* dalam ft untuk *approach* pesawat kategori A dan B

	Approach Type									
	Visual and Nonprecision Instrument, Airplane Design Group					Precision Instrument, Airplane Design Group				
	I*	I	II	III	IV	I*	I	II	III	IV
Runway width	60	60	75	100	150	75	100	100	100	150
Shoulder width	10	10	10	20	25	10	10	10	20	25
Blast pad										
Width	80	80	95	140	200	95	120	120	140	200
Length	60	100	150	200	200	60	100	150	200	200
Safety area										
Width	120	120	150	300	500	300	300	300	400	500
Length*	240	240	300	600	1000	600	600	600	800	1000
Object-free area										
Width	250	400	500	800	800	800	800	800	800	800
Length*	300	500	600	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Obstacle-free zone										
Width*	120 ^b	250	250	250	250	300	300	300	300	300
Length ^c	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200

Sumber : Horonjeff, 2010

Tabel 2.2. Standard dimensi *runway* dalam ft untuk *approach* pesawat kategori C, D dan E

	Airplane Design Group					
	I	II	III	IV	V	VI
Runway width	100	100	100 ^a	150	150	200
Shoulder ^b width	10	10	20 ^a	25	35	40
Blast pad						
Width	120	120	140 ^a	200	220	280
Length	100	150	200	200	400	400
Safety area						
Width ^c	500	500	500	500	500	500
Length ^d	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Object-free area						
Width	800	800	800	800	800	800
Length ^d	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Obstacle-free zone						
Width ^e	400	400	400	400	400	400
Length ^f	200	200	200	200	200	200

Sumber : Horonjeff, 2010

Tabel 2.3. ICAO *Runway* dan standar dimensi *runway strip* dalam meter (m)

	Aerodrome Code Letter				
	A	B	C	D	E
Pavement width					
Aerodrome code number					
1*	18	18	23		
2*	23	23	30		
3	30	30	30	45	
4			45	45	45
Pavement and shoulder width [†] *			60	60	60
	Aerodrome Code Number				
	1	2	3	4	
Runway strip width*					
Precision approach	150	150	300	300	
Nonprecision approach	150	150	300	300	
Visual approach	60	80	150	150	
Clear and graded area width*					
Instrument approach	80	80	150 [§]	150 [§]	
Visual approach	60	80	150	150	

Sumber : Horonjeff, 2010

Menurut *International Civil Aviation Organization (ICAO)*, perhitungan panjang *runway* harus disesuaikan dengan kondisi dimana bandara tersebut berada. Dalam metode *Aeroplane Reference Field Length (ARFL)*. Faktor - faktor yang mempengaruhi panjang adalah elevasi *runway* dari permukaan laut (*altitude*), temperatur, dan kemiringan landasan (*runway gradient*). Menurut *International Civil Aviation Organization (ICAO)*, *Aeroplane Reference Field Length (ARFL)* adalah *runway* minimum yang dibutuhkan untuk lepas landas pada *maximum take off weight*, elevasi muka laut, kondisi standard atmosfir, keadaan tanpa ada angin, *runway* tanpa kemiringan (kemiringan = 0).

2.3.1. Elevasi *Runway*

Elevasi *runway* suatu bandara juga berpengaruh terhadap panjang *runway*. Perbedaan suhu antara suhu *runway* dan suhu permukaan air laut mengakibatkan semakin tinggi lokasi suatu bandara semakin tinggi pula suhunya, sehingga dibutuhkan panjang *runway* yang lebih panjang. Menurut *International Civil Aviation Organization (ICAO)* bahwa panjang *runway* bertambah sebesar 7% setiap kenaikan 300 m 1000 ft) dihitung dari ketinggian di atas permukaan laut. Maka rumusnya adalah:

$$Fe = 1 + 0,07 \frac{h}{300} \dots\dots\dots (2-1)$$

Dengan,

Fe : Faktor koreksi elevasi

H : Elevasi di atas permukaan laut (m)

2.3.2. Temperatur *Runway*

Panjang suatu *runway* juga bergantung pada temperatur dimana bandara tersebut berada. Temperatur yang semakin tinggi akan mengakibatkan makin panjang juga *runway*nya. Hal ini disebabkan oleh *density* nya. *Density* udara akan semakin kecil apabila temperatur nya semakin tinggi yang berakibat pada

kekuatan mendesak pesawat (*Thrust*) untuk lari di atas landasan itu berkurang. Sehingga berakibat pada kebutuhan *runway* yang semakin panjang.

Menurut ICAO panjang *runway* harus dikoreksi terhadap temperatur sebesar 1% untuk setiap kenaikan 1°C. Sedangkan untuk setiap kenaikan 1000 m dari permukaan laut temperatur akan turun 6.5°C. Dimana suhu temperatur standar menurut ICAO adalah 15°C atau 59°F. Dengan dasar ini *International Civil Aviation Organization (ICAO)* menetapkan hitungan koreksi temperatur dengan rumus:

$$F_t = 1 + 0,01 \{ T - (15 - 0,0065 \times h) \} \dots\dots\dots(2-2)$$

Dengan,

F_t : Faktor koreksi temperature

T : Temperatur bandara (°C)

2.3.3. Kemiringan Landasan (*Runway Gradient*)

Kemiringan suatu landasan berpengaruh terhadap jarak tempuh suatu pesawat yang dibutuhkan agar pesawat tersebut mencapai kecepatan minimum saat akan lepas landas (*take off*). Apabila pesawat menempuh *runway* yang menanjak saat akan lepas landas (*take off*) maka akan semakin panjang *runway* yang dibutuhkan oleh pesawat untuk mencapai kecepatannya.

Menurut ICAO, setiap kemiringan (*slope*) 1%, maka panjang *runway* harus ditambah dengan 10%. Sehingga faktor koreksi kemiringan (*slope*) *runway* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_s = 1 + (0,1 S) \dots\dots\dots(2-3)$$

Dengan,

F_s : Faktor koreksi kemiringan

S : Kemiringan (*slope*) *runway* (%)

2.4. Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan

Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan yang selanjutnya disebut KKOP adalah wilayah daratan dan/atau perairan dan ruang udara di sekitar bandar udara yang dipergunakan untuk kegiatan operasi penerbangan dalam rangka menjamin keselamatan penerbangan (SNI 03-7112-2005). Dalam KKOP diketahui batasan – batasan wilayah serta ketinggian yang digunakan pesawat dalam melakukan pergerakannya di sekitar bandara. Sehingga dapat diketahui batasan ketinggian yang diijinkan dari suatu bangunan atau benda tumbuh, baik yang tetap maupun dapat berpindah yang sesuai dengan *Aerodrome Reference Code* dan *Runway Classification* dari suatu bandara.

Fungsi dari KKOP berdasarkan penjelasan di atas adalah sebagai pengatur dan pengendali ketinggian dari suatu bangunan atau benda tumbuh yang diperkirakan dapat mengganggu keselamatan operasi penerbangan pesawat. Selain itu KKOP juga memiliki fungsi sebagai pengatur dan pengendali tata guna lahan di sekitar bandar udara untuk penyusunan tata ruang suatu wilayah.

Berdasarkan SNI 03-7112-2005 tentang Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan, analisis kawasan operasi penerbangan adalah sebagai berikut :

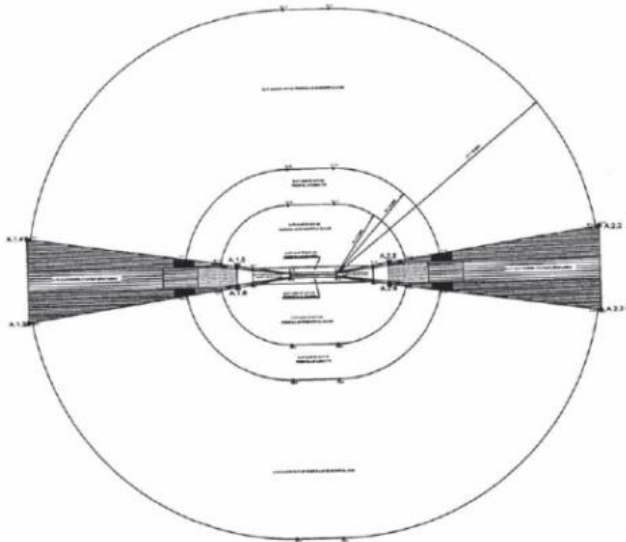
1. Kawasan pendekatan lepas landas (*Approach*),
2. Kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan,
3. Kawasan di bawah permukaan horizontal dalam,
4. Kawasan di bawah permukaan horizontal luar,
5. Kawasan di bawah permukaan kerucut.

2.4.1. Kawasan Pendekatan Lepas Landas (*Approach*)

Kawasan pendekatan lepas landas (*Approach*) adalah suatu kawasan perpanjangan kedua ujung landas pacu, di bawah lintasan pesawat udara setelah lepas landas atau akan mendarat, yang dibatasi oleh ukuran panjang dan lebar tertentu.

Kawasan ini dibatasi oleh tepi dalam yang berhimpit dengan ujung-ujung permukaan utama berjarak 60 meter dari ujung landas pacu dengan lebar tertentu (sesuai klasifikasi

landas pacu) pada bagian dalam, kawasan ini melebar ke arah luar secara teratur dengan sudut pelebaran 10% atau 15% (sesuai klasifikasi landas pacu) serta garis tengah bidangnya merupakan perpanjangan dari garis tengah landas pacu dengan jarak mendatar tertentu dan akhir kawasan dengan lebar tertentu. Kawasan lepas landas dapat dilihat pada Gambar 2.3.



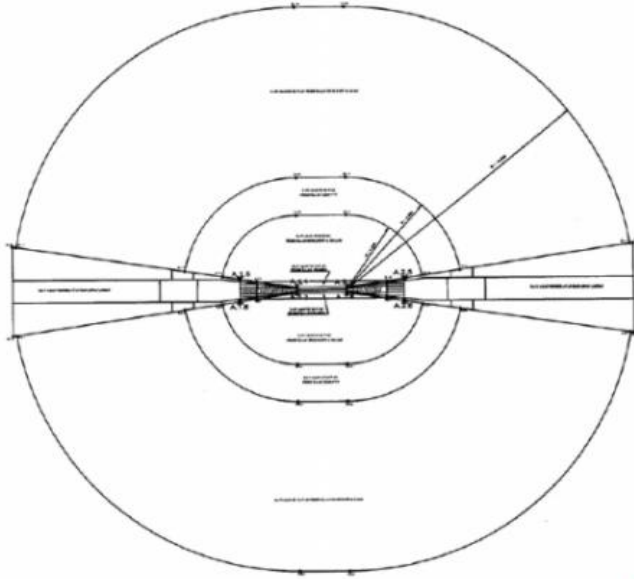
Gambar 2.3. Kawasan pendekatan lepas landas
Sumber : SNI 03-7112- KKOP, 2005

2.4.2. Kawasan Kemungkinan Bahaya Kecelakaan

Kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan adalah sebagian dari kawasan pendekatan yang berbatasan langsung dengan ujung-ujung landas pacu dan mempunyai ukuran tertentu, yang dapat menimbulkan kemungkinan terjadinya kecelakaan.

Kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan dibatasi oleh tepi dalam yang berhimpit dengan ujung-ujung permukaan utama dengan lebar 60 meter atau 80 meter atau 150 meter atau 300 meter (sesuai klasifikasi landas pacu), kawasan ini meluas keluar secara teratur dengan garis tengahnya merupakan perpanjangan

dari garis tengah landasan pacu sampai 660 meter atau 680 meter atau 1150 meter atau 1200 meter (sesuai klasifikasi landas pacu) dan jarak mendatar 3000 meter dari ujung permukaan utama.

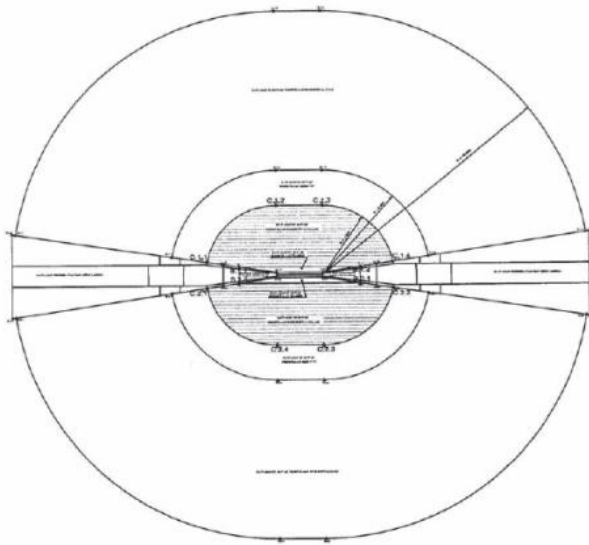


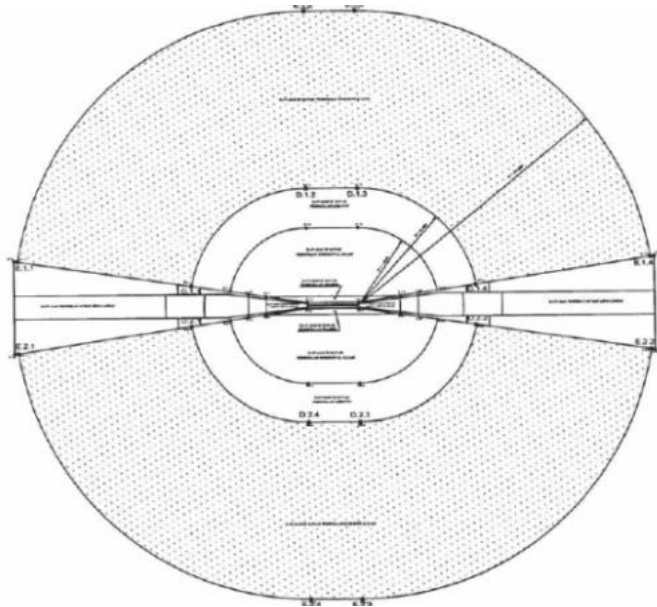
Gambar 2.4. Kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan
Sumber : SNI 03-7112- KKOP, 2005

2.4.3. Kawasan di bawah Permukaan Horizontal Dalam

Kawasan di bawah permukaan horizontal dalam adalah bidang datar di atas dan di sekitar bandar udara yang dibatasi oleh radius dan ketinggian dengan ukuran tertentu untuk kepentingan pesawat udara melakukan terbang rendah pada waktu akan mendarat atau setelah lepas landas.

Kawasan ini dibatasi oleh lingkaran dengan radius 2000 meter atau 2500 meter atau 3500 meter atau 4000 meter (sesuai klasifikasi landas pacu) dari titik tengah tiap ujung permukaan utama dan menarik garis singgung pada kedua lingkaran yang berdekatan tetapi kawasan ini tidak termasuk kawasan di bawah permukaan transisi.



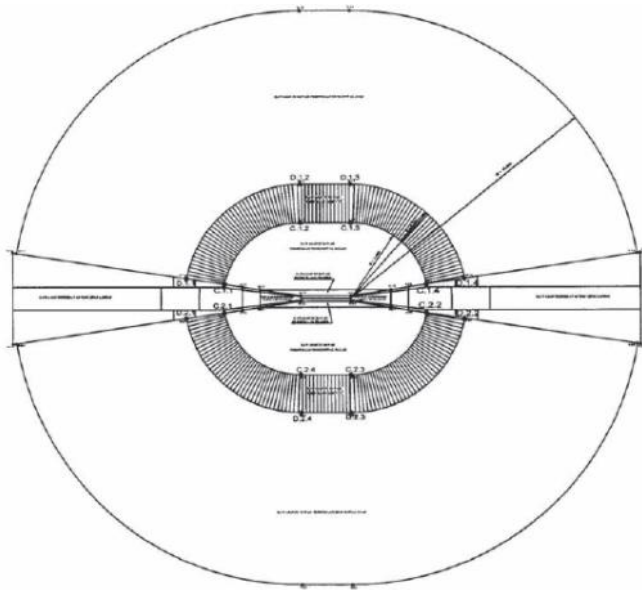


Gambar 2.6. Kawasan di bawah permukaan horizontal luar
Sumber : SNI 03-7112- KKOP, 2005

2.4.5. Kawasan di bawah Permukaan Kerucut

Kawasan di bawah permukaan kerucut adalah bidang dari suatu kerucut yang bagian bawahnya dibatasi oleh garis perpotongan dengan horizontal dalam dan bagian atasnya dibatasi oleh garis perpotongan dengan permukaan horizontal luar, masing-masing dengan radius dan ketinggian tertentu dihitung dari titik referensi yang ditentukan.

Kawasan ini dibatasi dari tepi luar kawasan di bawah permukaan horizontal dalam meluas dengan jarak mendatar 700 meter atau 1100 eter atau 1200 meter atau 1500 meter atau 2000 meter (sesuai klasifikasi landas pacu) dengan kemiringan 5% (sesuai klasifikasi landas pacu). Kawasan di bawah permukaan kerucut dicontohkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Kawasan di bawah permukaan kerucut
Sumber : SNI 03-7112- KKOP, 2005

2.4.6. Batasan Ketinggian KKOP

Setiap wilayah dalam wilayah KKOP memiliki batasan ketinggian yang berbeda. Penetapan batas-batas ketinggian pada kawasan keselamatan operasi penerbangan bandar udara dan sekitarnya, dilakukan dengan ketentuan teknis berdasarkan SNI 03-7112- KKOP 2005. Batas – batas ketinggian dalam wilayah KKOP tersebut adalah sebagai berikut :

1. Batas-batas ketinggian pada kawasan pendekatan dan lepas landas (*approach*). Batas-batas ini ditentukan oleh ketinggian terendah dari pertambahan (*superimpose*) permukaan pendekatan dan lepas landas, permukaan horizontal dalam, permukaan kerucut dan permukaan horizontal luar pada kawasan operasi penerbangan.

2. Batas-batas ketinggian pada kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan. Batas-batas ini ditentukan oleh kemiringan 2% atau 2.5% atau 3.33% atau 4% atau 5% (sesuai klasifikasi landas pacu) arah ke atas dan ke luar dimulai dari ujung permukaan utama pada ketinggian masing-masing ambang landas pacu sampai dengan ketinggian $(45 + H)$ meter di atas elevasi ambang landas pacu terendah sepanjang jarak mendatar 3000 meter dari permukaan utama melalui perpanjangan garis tengah landas pacu.
3. Batas-batas ketinggian pada kawasan di bawah permukaan horizontal dalam. Batas-batas ini ditentukan $(45 + H)$ meter di atas elevasi ambang landas pacu terendah.
4. Batas-batas ketinggian pada kawasan di bawah permukaan horizontal luar. Batas-batas ini ditentukan $(150 + H)$ meter di atas elevasi ambang landas pacu terendah.
5. Batas-batas ketinggian pada kawasan di bawah permukaan kerucut. Batas-batas ini ditentukan oleh kemiringan 5% arah ke atas dan keluar, dimulai dari tepi luar kawasan di bawah permukaan horizontal dalam pada ketinggian $(45+H)$ meter di atas elevasi ambang landas pacu terendah sampai ketinggian $(80 + H)$ atau $(100+H)$ atau $(105+H)$ atau $(120+H)$ atau $(145+H)$ (sesuai dengan klasifikasi landas pacu).
6. Batas-batas ketinggian pada kawasan di bawah permukaan transisi. Batas-batas ini ditentukan oleh kemiringan 14.3% atau 20% (sesuai klasifikasi landas pacu) arah ke atas dan keluar, dimulai dari sisi panjang pada ketinggian yang sama seperti permukaan utama dan permukaan pendekatan menerus sampai memotong permukaan horizontal dalam pada ketinggian $(45+H)$ meter di atas elevasi ambang landas pacu terendah.

Dalam menentukan angka-angka dalam batas-batas kawasan keselamatan operasi penerbangan, harus berdasarkan klasifikasi landas pacu dengan ketentuan seperti pada Tabel 2.4. Namun sebelumnya, harus ditentukan klasifikasi *runway*nya berdasarkan alat navigasi yang digunakan pada *runway* di bandara tersebut..

Tabel 2.4. Tabel klasifikasi *runway*

OLS & Dimensions (in meters and percentages)	Runway Classification									
	Non – Instrument				Instrument					
					Non-Precision			Precision		II- III Code No
	Code No.				Code No			I Code No		
1*	2	3	4	1,5	3	4	1,2	3,4	3,4	
OUTER HORIZONTAL										
Height (m)								150	150	
Radius (m)								15000	15000	
CONICAL										
Slope	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Height (m)	35	55	75	100	60	75	100	60	100	100
INNER HORIZONTAL										
Height (m)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Radius (m)	2000	2500	4000	4000	3500	4000	4000	3500	4000	4000
APPROACH										
Length of inner edge (m)	60	80	159°	150	90	150	300°	150	300	300
Distance from threshold (m)	30	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Divergence each side	10%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
First section length (m)	1600	2500	3000	3000	2500	3000	3000	3000	3000	3000
Slope	5%	4%	3,33%	2,5%	3,33%	3,33%	2%	2,5%	2%	2%
Second section length (m)	-	-	-	-	-	3600°	3600	12000	3600	3600
Slope	-	-	-	-	-	2,5%	2,5%	3%	2,5%	2,5%
Horizontal section length (m)	-	-	-	-	-	8400°	8400	-	8400	8400
Total length (m)	1600	2500	3000	3000	2500	15000°	15000	15000	15000	15000
INNER APPROACH										
Width (m)								90	120	120
Distance from threshold (m)								60	60	60
Length (m)								900	900	900
Slope								2,5%	2%	2%
TRANSITIONAL										
Slope	20%	20%	14,3%	14,3%	20%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%
INNER TRANSITIONAL										
Slope								40%	33,3%	33,3%
BAUL KED LANDING										
Length of inner edge (m)								90	120	120
Distance from threshold (m)								°	1800	1800
Divergence each side								10%	10%	10%
Slope								4%	3,3%	3,3%

Sumber : SKEP 77-VI-2005

2.5. Topografi

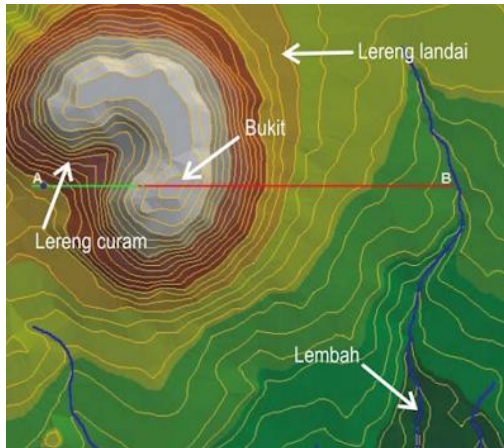
Dalam bahasa Yunani, topografi berasal dari *topos* yang berarti tempat dan *graphi* yang berarti menggambar (Priyanto, 2005). Peta topografi memetakan tempat-tempat dipermukaan bumi yang berketinggian sama dari permukaan laut menjadi bentuk garis-garis kontur, dengan satu garis kontur mewakili satu ketinggian. Peta topografi mengacu pada semua ciri-ciri permukaan bumi yang dapat diidentifikasi, apakah alamiah atau buatan, yang dapat ditentukan pada posisi tertentu. Oleh sebab itu, dua unsur utama topografi adalah ukuran relief (berdasarkan variasi elevasi axis) dan ukuran planimetrik (ukuran permukaan bidang datar). Peta topografi menyediakan data yang diperlukan tentang sudut kemiringan, elevasi, daerah aliran sungai, vegetasi secara umum dan pola urbanisasi. Peta topografi juga menggambarkan sebanyak mungkin ciri-ciri permukaan suatu kawasan tertentu dalam batas-batas skala.

Menurut Priyanto (2005), Kontur adalah kontinyu (bersinambung). Sejauh mana pun kontur berada, tetap akan bertemu kembali di titik awalnya. Perkecualiannya adalah jika kontur masuk ke suatu daerah kemiringan yang curam atau nyaris vertikal, karena ketiadaan ruang untuk menyajikan kontur – kontur secara terpisah pada pandangan horisontal, maka lereng terjal tersebut digambarkan dengan simbol. Selanjutnya, kontur-kontur akan masuk dan keluar dari simbol tersebut.

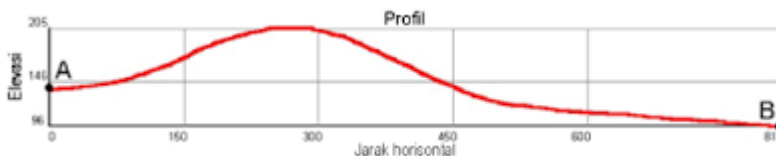
Jika kontur-kontur pada bagian bawah lereng merapat, maka bentuk lereng disebut konveks (cembung), dan memberikan pandangan yang pendek. Jika sebaliknya, yaitu merenggang, maka disebut dengan konkav (cekung), dan memberikan pandangan yang panjang. Jika pada kontur-kontur yang berbentuk meander tetapi tidak terlalu rapat maka permukaan lapangannya merupakan daerah yang undulasi (bergelombang).

Kontur yang rapat dan tidak teratur menunjukkan lereng yang patah-patah. Kontur-kontur yang halus belokannya juga menunjukkan permukaan yang teratur (tidak patah-patah), kecuali pada peta skala kecil pada umumnya penyajian kontur

cenderung halus akibat adanya proses generalisasi yang dimaksudkan untuk menghilangkan detil-detil kecil (minor). Berbagai macam kenampakan kontur beserta profil permukaan lahan potongannya, dapat dilihat pada Gambar 2.8 dan Gambar 2.9 sebagai berikut.



Gambar 2.8. Berbagai Penampakan Kontur
Sumber : Priyanto,2005

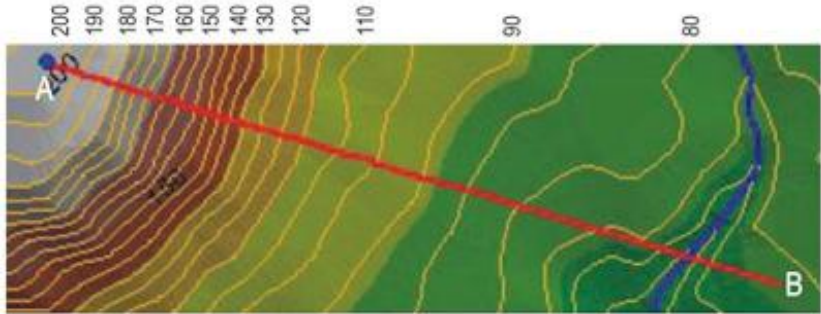


Gambar 2.9. Profil permukaan lahan dari potongan garis A-B
Sumber : Priyanto,2005

2.5.1. Membuat Potongan Profil Topografi

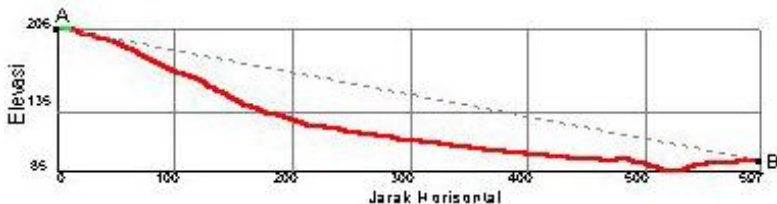
Untuk membuat suatu potongan profil yang utuh antara dua titik A dan B pada peta berkontur, gambarlah sebuah garis lurus pada peta antara titik-titik tersebut. Temukan kontur-kontur rendah dan tinggi yang terpotong oleh garis. Pada gambar 2.12 kontur yang tertinggi adalah 200 meter, dan yang terendah adalah 80 meter.

Letakkan secarik kertas dengan tepi yang lurus sepanjang garis AB, dan tandai pada titik A dan titik B tersebut juga titik-titik di mana kontur-kontur memotong garis.



Gambar 2.10. Pemotongan garis kontur
Sumber : Priyanto,2005

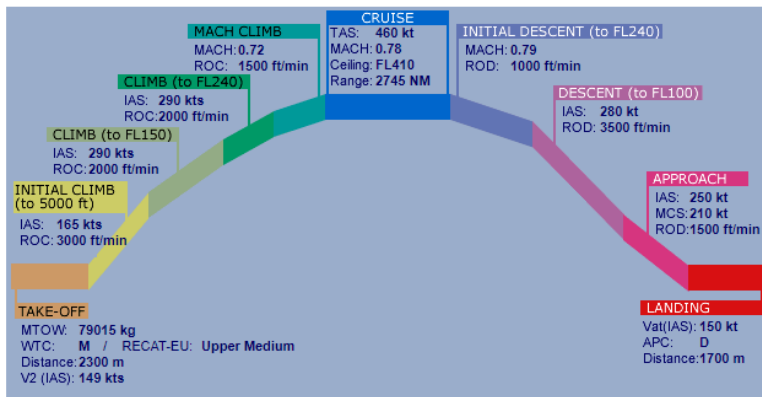
Dari masing-masing tanda turunkan garis tegak lurus pada kertas. Sejajar dengan pinggiran yang sudah ditandai gambar garis-garis paralel dengan skala yang sesuai untuk menunjukkan angka tinggi dari masing-masing kontur yang dipotong oleh garis AB, yaitu 80 sampai dengan 200 meter pada Gambar 2.10. Buat sebuah tanda pada setiap garis vertikal di mana itu memotong skala tinggi sejajar sesuai dengan tingginya pada garis AB. Gabungkan tanda-tanda ini dengan suatu garis kurva yang halus, memungkinkan untuk membentuk lereng permukaan antara kontur-kontur di lembah dan di puncak bukit. Penggunaan kertas milimeter atau grid akan memudahkan penggambaran.



Gambar 2.11. Potongan yang menunjukkan intervisibilitas
Sumber : Priyanto,2005

2.6. Pola Pergerakan Pesawat

Masing – masing pesawat memiliki pola pergerakan yang berbeda – beda. Pola pergerakan pesawat perlu diketahui untuk melihat apakah kondisi topografi sekitar bandara mengganggu pola pergerakannya. Pola pergerakan masing – masing pesawat dapat dilihat pada *manual* masing – masing pesawat. Sebagai contoh pola pergerakan pesawat Boeing 737 – 900 dapat dilihat Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Contoh pola pergerakan pesawat 737 – 900

Sumber :

<https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/details.aspx?ICAO=B739&NameFilter=boeing>

Pola pergerakan pesawat Boeing 737 – 900 sesuai pada Gambar 2.12. dimulai dari *take off*, *climb*, *mach climb*, *cruise*, *descent*, *approach*, hingga *landing*.

2.6.1. Take Off

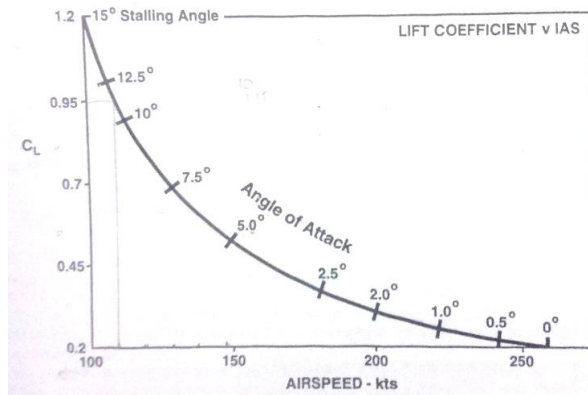
Pola pergerakan pertama yaitu *take off*. Dalam pola ini, ditunjukkan kecepatan pesawat dan panjang *take off* yang diperlukan untuk proses *take off*. Jarak lepas landas (*take off distance*) merupakan jarak horizontal yang diperlukan untuk lepas landas dengan mesin tidak bekerja tetapi pesawat telah mencapai

ketinggian 10,5 M (35 Ft) di atas permukaan landasan atau 11.5% dari jarak horizontal yang diperlukan untuk lepas landas dengan mesin-mesin masih bekerja, pesawat telah mencapai ketinggian 10,5 M (35 Ft) di atas permukaan lepas landas.

Pada saat *take off*, pesawat mempunyai kecepatan awal untuk mendaki (V_2) yaitu kecepatan minimum, pilot diperkenankan untuk mendaki sesudah pesawat mencapai ketinggian 10,5 M (35 Ft) di atas permukaan landas pacu. Pada sepanjang jarak lepas landas, pesawat mengalami *lift off* yaitu saat badan pesawat mulai terangkat dari landasan. Pada *take off distance* terdiri dari TOR (*take off run*) yaitu jarak dari awal *take off* ke suatu titik, dimana dicapai V_{lof} (*Lift Off Speed*), ditambah dengan setengah jarak, pesawat mencapai ketinggian 10,5 M (35 ft) dari V_{lof} , pada keadaan mesin pesawat tidak bekerja (*In Operative*). Dapat dirumuskan sebagai berikut (Swatton, 2008).

$$TOR(m) = TOD(m) - TOD(m) \times \left(\frac{10.7 \text{ m}}{\tan(\text{angle of attack})} \right) \dots (2-4)$$

Angle of Attack merupakan sudut angkat terhadap horizontal yang dihasilkan pesawat saat *lift off*, dimana *angle of attack* dapat didapatkan dari grafik Gambar 2.13. berikut.



Gambar 2.13. Grafik *Angle of Attack*

Sumber : Swatton, 2008

2.6.2. *Initial Climb*

Setelah mengalami *take off*, pesawat melakukan *initial climb* (penerbangan awal) hingga mencapai 5000 ft dengan IAS dan ROC yang diketahui dari Gambar 2.12. *Rate of Climb* adalah perubahan tinggi terhadap periode waktu. Nilai ROC ini dipengaruhi oleh tinggi altitude pesawat, tinggi temperatur, tinggi masa dan tinggi kemampuan sayap pesawat (*flap*).

Pesawat melakukan *initial climb* menuju ketinggian 5000ft. Kemudian pesawat melakukan climb menuju FL150 (15000ft) dan melanjutkan *climb* menuju FL240 (24000 ft). Dalam melakukan *climb* pesawat memiliki ROC dan IAS yang berbeda.

2.6.3. *Mach Climb*

Setelah melewati pola *climb*, pesawat memasuki pola pergerakan yang disebut *mach climb*. Pada pola ini pesawat mendekati kondisi seimbang. Pada Gambar 2.12 menunjukkan pola *mach climb* mempunyai *mach* = 0,72 yang berarti TAS sebenarnya dibagi dengan TAS kecepatan suara pada ketinggian tertentu dan nilai ROC.

2.6.4. *Cruise*

Kondisi pesawat saat stabil dan kecepatan pesawat sebanding dengan masa pesawat, kecepatan menjelajah berkurang selama progress terbang menuju ketinggian optimum sering. Kondisi tersebut disebut dengan *Cruise Climb*. Pada pola pergerakan ini ditunjukkan TAS, *mach*, dan jarak terbang hingga 2745 nm dengan ketinggian optimum FL 410 (41000ft).

2.6.5. *Descent*

Dalam pergerakan dari *cruise* menuju *landing*, pesawat melewati beberapa tahapan, diantaranya *initial descent* yaitu awal turunnya pesawat menuju FL240 (24000 ft) dengan diketahui kecepatan *mach* dan ROD (*Rate of Descent*). Kemudian pesawat mengalami *descent* atau turun menuju FL100 (10000ft) dengan diketahui IAS dan ROD.

2.6.6. Approach

Sebelum landing, pesawat mengalami pergerakan yang disebut *approach* yaitu pergerakan pendekatan lepas landas dari ketinggian FL100 hingga pesawat *landing* (menyentuh *runway*). Pada tahapan *approach* diketahui nilai IAS, ROD, dan MSC.

2.6.7. Landing

Pola pergerakan pesawat yang terakhir adalah *landing*. Dalam pola ini diketahui jarak *landing* yang diperlukan serta kecepatan VAS yang merupakan kecepatan pesawat di landasan pacu saat *landing*.

2.7. Variasi Berat Pesawat

Dalam satu jenis pesawat, terdapat variasi berat pesawat yang harus diketahui. Variasi berat dan berat pesawat sendiri perlu diketahui untuk membuat pesawat efisien dan aman dalam operasional penerbangannya. Desain manufaktur pesawat dibatasi dengan beratnya. Maksimum berat operasional dapat dibatasi oleh *runway* keberangkatan dan kedatangan suatu bandar udara.

Perhitungan berat pesawat didasarkan pada variasi berat pesawat. Perhitungan berat operasional pesawat dicontohkan pada Tabel 2.5. berikut.

Tabel 2.5. Contoh Perhitungan Berat Operasional Pesawat

Manufacturer's Empty Weight (MEW)	36,779 kg
+ Operator's Items	+ 5,205 kg
= Operational Empty Weight (OEW)	= 41,981 kg
+ Payload	+ 13,529 kg
= Actual Zero Fuel Weight (AZFW)	= 55,510 kg
+ Fuel	+ 13,239 kg
= Actual Gross Weight (AGW)	= 68,749 kg
- Taxi Fuel	- 100 kg
= Actual Take-Off Weight (ATOW)	= 68,649 kg
- Fuel consumption	-10,900 kg
= Actual Landing Weight (ALW)	= 57,749 kg

Sumber : IVAO, 2015

2.7.1. *Manufacturer's Empty Weight (MEW)*

Manufacturer's empty weight adalah berat pesawat yang berhubungan dengan pesawat itu sendiri dan segala manufaktur yang mendukung pesawat seperti struktur pesawat dan sistem generasi energi termasuk mesin pesawat (IVAO, 2015).

2.7.2. *Operational Empty Weight (OEW)*

Berat bersih manufaktur ditambah dengan barang operator adalah yang disebut dengan berat bersih operasional (OEW). OEW dapat di ilustrasikan dalam rumus berikut. (IVAO, 2015)

$$MEW + \text{Operator's item} = OEW \dots\dots\dots(2-5)$$

Operator's item atau barang operasional pesawat antara lain sebagai berikut.

1. Cairan yang digunakan untuk operasi pesawat
2. Air yang digunakan untuk dapur dan kamar kecil
3. Dokumentasi pesawat
4. Kursi penumpang dan pelampung
5. Stuktur dapur
6. Peralatan darurat
7. Crew pesawat dan barang bawaannya
8. Barang standard penting untuk memenuhi kebutuhan.

2.7.3. *Actual Zero Fuel Weight (AZFW)*

Actual zero fuel weight adalah berat pesawat kosong ditambah dengan payload. Payload terdiri dari berat penumpang, berat barang bawaan penumpang dan cargo. Lebih jelasnya dapat dirumuskan sebagai berikut. (IVAO, 2015).

$$OEW + \text{Payload} = AZFW \dots\dots\dots(2 - 6)$$

Payload terdiri dari berat penumpang ditambah dengan berat kargo. Berat penumpang tergantung dari jumlah kursi yang disediakan pada pesawat dengan asumsi sebagai berikut.

1. Berat penumpang laki-laki (termasuk barang bawaan) diasumsikan 82kg (181 lbs),
2. Berat penumpang perempuan 67 kg (148 lbs),
3. Berat anak kecil diasumsikan 50kg (110lbs),
4. Berat bayi diasumsikan 16kg (3lbs).

2.7.4. Actual Gross Weight (AGW)

Actual gross weight adalah jumlah dari penambahan *actual zero fuel weight* dengan bahan bakar yang dibutuhkan pesawat untuk melakukan penerbangan, dapat dirumuskan sebagai berikut (IVAO, 2015).

$$AZFW + \text{Total bahan bakar} = AGW \dots\dots\dots(2 - 7)$$

Dalam perhitungan tersebut, diperlukan menghitung total bahan bakar yang diperlukan untuk terbang. Untuk mengkonversikan liter ke dalam kilogram perlu diketahui masa jenis bahan bakar.

2.7.5. Actual Take off Weight

Berat kotor suatu pesawat berbeda-beda. Konsumsi bahan bakar minyak dapat mengurangi berat kotor. Dalam berbagai tujuan penerbangan, dalam perjalanannya, semakin banyak bahan bakar yang akan digunakan, maka *payload* akan berkurang. *Take off weight* dapat dirumuskan sebagai berikut. (IVAO, 2015)

$$AGW - \text{Taxi-out fuel} = \text{Take-off weight} \dots\dots\dots(2 - 8)$$

2.7.6. Actual Landing Weight

Berat pendaratan adalah berat yang berpengaruh kepada performa pendaratan suatu pesawat. *Actual landing weight* dapat dirumuskan sebagai berikut. (IVAO, 2015)

$$\text{Take off weight} - \text{Trip Fuel} = \text{Actual Landing Weight} \dots\dots\dots(2-9)$$

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB III

METODOLOGI

3.1. Umum

Untuk mempermudah langkah - langkah penyusunan Tugas Akhir “Evaluasi Keselamatan Operasional Penerbangan dan Potensi Penambahan Rute di Bandara Sam Ratulangi Manado” ini, dibuat metodologi yang sistematis guna mencapai hasil yang ingin dicapai. Pada Tugas Akhir ini, hasil yang ingin dicapai adalah mengetahui kesesuaian panjang dan lebar *runway*, kesesuaian KKOP bandara terhadap topografi, kesesuaian pola pergerakan pesawat terhadap topografi, serta menentukan potensi rute tambahan yang dapat beroperasi di Bandara Sam Ratulangi Manado.

Penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan dalam beberapa tahapan untuk mencapai hasil yang diinginkan. Tahapan penyusunan yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Pendahuluan
2. Identifikasi masalah
3. Studi literatur
4. Pengumpulan data sekunder
5. Analisis data
6. Hasil pengerjaan

3.2. Tahap Persiapan

Dalam tahap persiapan, dilakukan pengamatan dan pengumpulan informasi tentang kondisi terkini Bandara Sam Ratulangi Manado. Tujuannya untuk mengetahui berbagai masalah yang terdapat di Bandara Sam Ratulangi Manado dan mengetahui potensi pengembangan yang dapat dilakukan guna menunjang peningkatan kualitas serta perkembangan Bandara Sam Ratulangi Manado kedepannya.



Gambar 3.1. Gerbang Depan Bandara Sam Ratulangi Manado



Gambar 3.2. Kondisi Terminal Bandara Sam Ratulangi Manado



Gambar 3.3. Kondisi Apron Bandara Sam Ratulangi Manado

3.3. Tahap Identifikasi Masalah

Setelah dilakukan survei dan pengamatan tentang kondisi Bandara Sam Ratulangi terkini, dilakukan tahap identifikasi masalah. Dalam tahap ini ditentukan *gap analysis*, dimana pada *gap analysis* ini terdapat *current state* dan *ideal state*.

- ***Current state*** :

Terdapat 8 maskapai yang beroperasi di bandara Sam Ratulangi Manado, yaitu Garuda Indonesia, Lion Air, Sriwijaya Air, Wings Air, Citilink, Batik Air, Nam Air dan Silk Air. Dari 8 maskapai tersebut, terdapat 7 jenis pesawat yang beroperasi, yaitu Airbus A 320, Boeing 737 – 900, Boeing 737 – 800, Boeing 737 – 500, Bombardier CRJ – 1000 ER, ATR 42, dan ATR 75. Pesawat terbesar yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi adalah Boeing 739 dengan jarak pelayanan penerbangan terjauh adalah Bandara Sam Ratulangi Manado – Bandara Internasional Shanghai Pudong.

- ***Ideal state*** :

Sebagai gerbang Indonesia Timur pada umumnya dan Kota Manado pada khususnya, diperlukan studi atau evaluasi lebih lanjut yang meninjau jenis pesawat yang beroperasi, ruang gerak pesawat, dan kawasan operasi penerbangan serta evaluasi jarak tempuh optimum pesawat guna mengetahui kesesuaian ruang udara terhadap jenis pesawat, kawasan operasionalnya terhadap topografi, serta potensi penambahan rute terhadap pesawat yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi Manado.

3.4. Tahap Studi Literatur

Dalam tahap ini dilakukan pengumpulan berbagai literatur yang mendukung guna menjawab permasalahan yang ada. Literatur yang digunakan disesuaikan dengan analisis – analisis yang diperlukan guna mencapai hasil yang ingin dicapai.

Untuk membantu mencapai tujuan penulisan Tugas Akhir ini, diperlukan beberapa literatur. Adapun berikut ini merupakan beberapa literatur yang akan menjadi acuan dan untuk lebih lengkapnya telah diulas pada bab II dalam Tugas Akhir ini.

1. Federal Aviation Administration (FAA) – Advisory Circular No 150/5325-4B, Runway Length Requirements for Airport Design. 2005
2. International Civil Aviation Organization (ICAO), Aerodromes-Annex 14 International Standards & Recommended Practices. 1999
3. Keputusan Direktur Jendral Perhubungan Udara SKEP/77/IV/2005
4. SNI 03-7112-2005 mengenai Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP)

3.5. Tahap Pengumpulan Data Sekunder

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini dibutuhkan beberapa dari data sekunder. Data sekunder tersebut diperoleh dari PT (Persero) Angkasa Pura I, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Kota Manado, dan Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (Bakorsutanal). Data yang diperoleh berupa dokumen yang meliputi:

1. Data pergerakan pesawat,
2. Layout bandara,
3. Data klimatologi,
4. Peta topografi Kota Manado,
5. Pola pergerakan masing - masing pesawat.

Selanjutnya, data sekunder akan ditampilkan pada bab pembahasan dalam Laporan Tugas Akhir ini serta pada lampiran Tugas Akhir.

3.6. Tahap Analisis Data

Setelah semua data diperoleh, dilakukan analisis menggunakan literatur yang sudah ditentukan dalam tinjauan pustaka. Dalam tahap ini, dilakukan beberapa analisis diantaranya analisis *runway*, analisis kesesuaian KKOP terhadap topografi, analisis pola pergerakan pesawat terhadap topografi, serta analisis penentuan potensi penambahan rute yang dapat beroperasi di Bandara Sam Ratulangi Manado.

3.6.1. Tahap Analisis *Runway*

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian panjang dan lebar *runway* dengan jenis pesawat yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi. Panjang dan lebar *runway* harus diketahui untuk menentukan kawasan keselamatan operasi penerbangan. Data yang digunakan dalam analisis panjang *runway* adalah data pesawat yang beroperasi, data karakteristik *runway* serta data temperatur bandara. Dari analisis ini akan diketahui kesesuaian panjang dan lebar *runway* terhadap pesawat yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi Manado.

3.6.2. Tahap Analisis Kesesuaian KKOP Terhadap Topografi

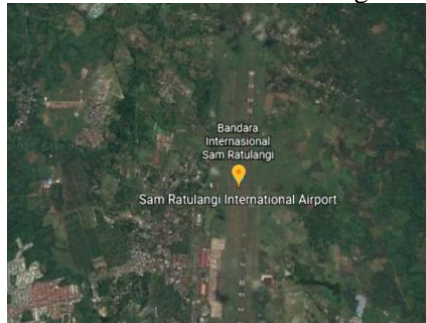
Setelah hasil dari analisis kesesuaian *runway* diperoleh, maka dilakukan penentuan batas – batas kawasan keselamatan operasional penerbangan di Bandara Sam Ratulangi Manado. Dalam tahap ini, diperlukan data *runway* aktual serta klasifikasi *runway* berdasarkan sistem navigasi yang digunakan di Bandara Sam Ratulangi Manado. Adapun kawasan keselamatan operasi penerbangan di bandar udara dan sekitarnya berdasarkan SNI 03-7112-2005 mengenai Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP), dapat ditentukan batas –batas operasi teknis sebagai berikut:

1. Batas kawasan pendekatan lepas landas.
2. Batas kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan
3. Batas kawasan di bawah permukaan horizontal dalam
4. Batas kawasan di bawah permukaan kerucut
5. Batas kawasan di bawah permukaan transisi
6. Batas kawasan di bawah permukaan horizontal luar.

Tahap selanjutnya yaitu mengevaluasi batas – batas kawasan keselamatan operasional penerbangan terhadap kondisi topografi sekitar Bandara Sam Ratulangi Manado. Dalam tahap ini, gambar KKOP ditempatkan pada peta topografi Kota Manado. Peta topografi kota Manado digunakan untuk mengetahui elevasi dasar permukaan tanah Kota Manado. Peta

topografi merupakan syarat utama untuk menentukan keselamatan operasional. Kawasan keselamatan operasi penerbangan yang sudah dibuat berdasarkan panjang *runway* akan di evaluasi kesesuaiannya terhadap peta topografi. Peta topografi dapat diakses dari *Google Earth*. Metode untuk mendapatkan profil ketinggian dan batasan wilayah topografi Bandara Sam Ratulangi Kota Manado adalah sebagai berikut.

1. Tentukan lokasi Bandara Sam Ratulangi Manado.



Gambar 3.4. Lokasi Bandara Sam Ratulangi Manado

2. Letakkan Peta KKOP yang telah dibuat sebelumnya dan sesuaikan dengan koordinat posisi *runway* Bandara untuk mengetahui batas - batas KKOP



Gambar 3.5. Penempatan KKOP pada peta topografi

3. Buat potongan melintang serta memanjang garis *runway* untuk mengetahui profil ketinggian topografi.

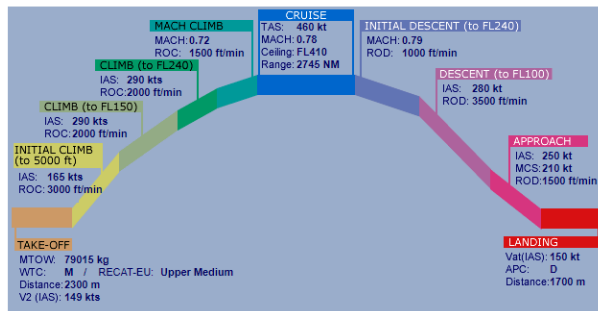


Gambar 3.6. Profil Ketinggian Topografi

4. Setelah profil ketinggian didapatkan, maka diketahui kesesuaian kawasan keselamatan operasi penerbangan Bandara Sam Ratulangi Manado terhadap topografi.

3.6.3. Analisis Pola Pergerakan Masing – masing Pesawat terhadap Topografi

Dalam tahap ini, diperlukan data pola pergerakan masing - masing pesawat yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi. Pola pergerakan pesawat dapat diketahui dan digambarkan secara detail berdasarkan *aircraft performance* yang didapat dari *manual* pada masing-masing pesawat. Contoh gambar pola pergerakan dapat diketahui pada Gambar 3.7.

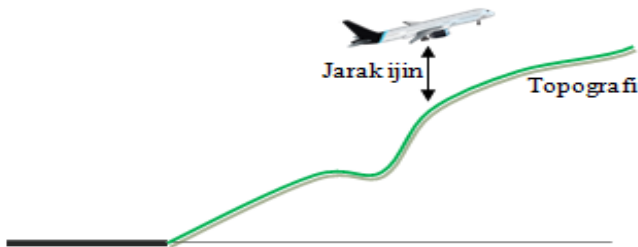


Gambar 3.7. Contoh pola pergerakan pesawat Boeing 737 - 900

Sumber :

<https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/details.aspx?ICAO=B739&NameFilter=boeing>

Dalam perhitungan jarak masing-masing pola pergerakan pada ketinggian tertentu, ada beberapa data yang tidak diketahui dalam *flash* seperti jarak *lift off*, maka perlu menghitung jarak *lift off* berdasarkan pada jarak *take off* dan *angle of attack* atau derajat sudut penerbangannya. Perhitungan *angle of attack* dibutuhkan guna mengetahui apakah pesawat memenuhi jarak ijin minimum terhadap elevasi topografi saat melakukan *take off*. Jarak lepas landas (*take off distance*) merupakan jarak horizontal yang diperlukan untuk lepas landas dengan mesin tidak bekerja tetapi pesawat telah mencapai ketinggian 10,5 M (35 Ft) di atas permukaan landasan. Sehingga jarak ijin minimum antara elevasi topografi dan elevasi pesawat saat beroperasi adalah 35ft (10,5 m). Penjelasan dari uraian diatas dapat dilihat pada Gambar 3.8. sebagai berikut.



Gambar 3.8. Pesawat yang masih memiliki jarak ijin terhadap topografi

Dalam analisis ini, akan diketahui apakah pola pergerakan pesawat tidak melebihi batas keselamatan operasional penerbangan di Bandara Sam Ratulangi Manado.

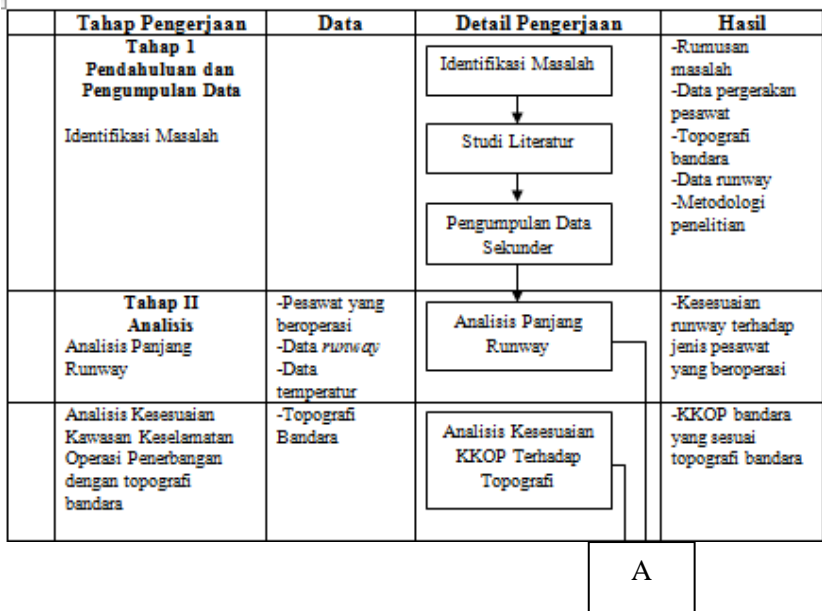
3.7. Hasil Analisis

Setelah data-data yang diperlukan didapat dan dilakukan analisa – analisa yang telah dijelaskan, maka akan didapat hasil dari pembahasan Tugas Akhir ini. Adapun hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut.

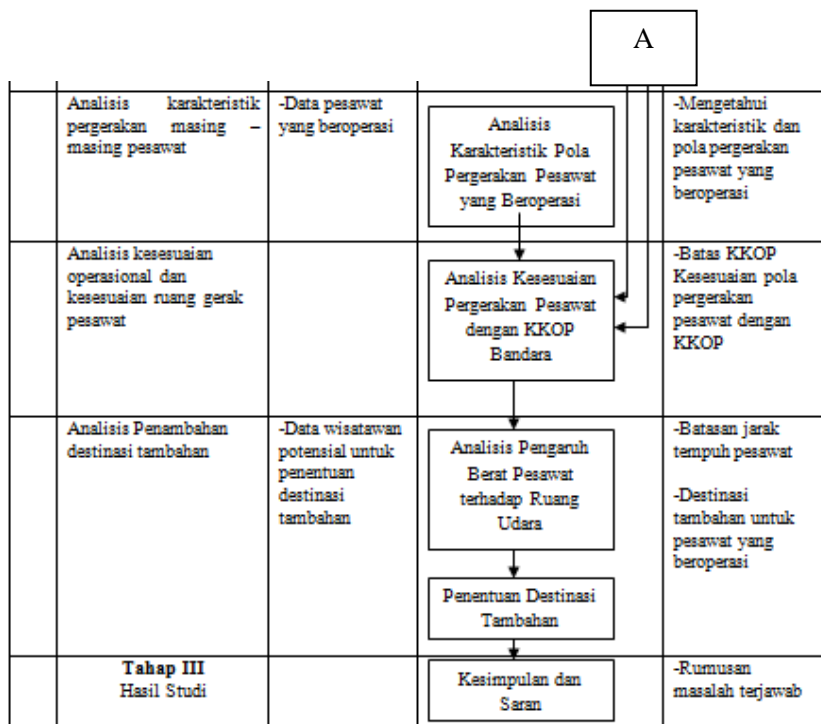
1. Kesesuaian panjang dan lebar *runway* yang tersedia terhadap kebutuhan *runway* pesawat yang beroperasi.
2. Kawasan keselamatan operasional penerbangan di Bandara Sam Ratulangi Manado serta batas – batas ketinggian
3. Kesesuaian pola pergerakan masing – masing pesawat yang beroperasi terhadap topografi Bandara Sam Ratulangi.
4. Potensi penambahan rute penerbangan langsung yang bisa beroperasi di Bandara Sam Ratulangi Manado.

3.8. Diagram Alir Metodologi

Secara keseluruhan, metodologi yang digunakan dalam penulisan Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.9. berikut.



Gambar 3.9. Diagram Alir Metode Tugas Akhir



Gambar 3.9. Diagram Alir Metode Tugas Akhir (Lanjutan)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum

Pada bab ini akan dilakukan evaluasi keselamatan operasional ruang udara dan penentuan potensi rute tambahan di Bandara Sam Ratulangi Manado. Ada beberapa analisis yang dilakukan pada bab ini, analisis – analisis tersebut adalah sebagai berikut.

1. Analisis panjang dan lebar *runway* terhadap pesawat yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi Manado.
2. Analisis kesesuaian KKOP terhadap topografi Bandara Sam Ratulangi Manado.
3. Analisis kesesuaian pergerakan pesawat dengan KKOP Bandara Sam Ratulangi Manado.
4. Analisis pengaruh berat pesawat terhadap ruang udara serta penentuan potensi rute tambahan untuk pesawat yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi Manado.

4.2 Analisis Panjang dan Lebar *Runway*

Dalam analisis ini, panjang dan lebar *runway* harus diketahui untuk menentukan kawasan keselamatan operasional penerbangan. Selain itu juga perlu diketahui jenis – jenis pesawat yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian panjang dan lebar *runway* dengan jenis pesawat yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi.

4.2.1. Evaluasi Panjang *Runway*

Dalam evaluasi *runway*, perlu diketahui karakteristik pesawat yang beroperasi serta karakteristik *runway*. Data pergerakan pesawat yang beroperasi dapat dilihat dalam Lampiran 1. Jenis dan karakteristik pesawat yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi ditampilkan pada Tabel 4.1. Dari tabel 4.1. dapat diketahui bahwa pesawat terbesar yang beroperasi adalah Boeing 737 – 900.

Tabel 4.1. Jenis dan karakteristik pesawat yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi

Aircraft	FAA Code	MTOW (lbs)	Approach Speed (knot)	Wingspan (ft)	Tail Height (ft)	ARC	Number of Passenger
Airbus A 320	A320	162,040	138	111.30	38.90	4C	164
Boeing 737 - 900	B739	174,000	144	112.58	41.17	4C	177
Boeing 737 - 800	B738	174,000	141	112.58	41.17	4C	162
Boeing 737 - 500	B735	136,000	140	94.75	36.58	4C	149
Bombardier CRJ-1000ER	CRJX	91,800	126	85.89		4C	104
ATR 42	AT42	35,605	105	80.42	24.92	3B	48
ATR 75	AT75	44,070	105	88.75	25.01	3B	70

Sumber :Annex 14, ICAO

Dari data data pergerakan pesawat di Bandara Sam Ratulangi, diketahui bahwa pesawat kritis yang beroperasi pada *runway* Bandara Sam Ratulangi adalah Boeing 737 – 900. Karakteristik Boeing 737 – 900 adalah sebagai tabel 4.2. berikut.

Tabel 4.2. Karakteristik Pesawat

Karakteristik Pesawat	
Modul Pesawat	Boeing 737-900
Panjang (m)	42.1 m
Lebar Sayap (m)	34.3 m
OMGWS (Outer Main Gear Wheel Span) (m)	9.0 m
MTOW (Maximum <i>Take-Off</i> Weight) (kg)	79015 kg
ARFL (<i>Aerodrome Reference Field Length</i>) (m)	2256 m
<i>Operation Empty Weight</i> (kg)	42490 kg
Kapasitas Penumpang	177
Kapasitas Bahan Bakar	26030 liter
ARC (<i>Aerodrome Reference Code</i>)	4C

Sumber :Annex 14, ICAO

Data karakteristik *runway* Bandara Sam Ratulangi Manado dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3. Karakteristik Landasan Pacu Pesawat

Karakteristik Runway	
Arah Runway	18 / 36
Panjang Runway (m)	2650 m
Lebar Runway	45 m
Elevasi runway	18 = 274 ft dpl 36 = 270 ft dpl
Suhu rata –rata $^{\circ}\text{C}$	26.7
Slope runway %	0.15

Sumber : Angkasa Pura I, 2017

Panjang *runway* aktual yang dibutuhkan pesawat yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi didapatkan dengan melakukan beberapa koreksi, diantaranya:

1. Koreksi faktor elevasi,
2. Koreksi terhadap temperatur,
3. Koreksi terhadap *slope runway*.

Untuk menghitung faktor koreksi, terlebih dahulukan harus mencari nilai ARFL. ARFL adalah panjang landasan minimum bagi pesawat untuk take off pada keadaan standar, yaitu pada kondisi MTOW, ketinggian nol terhadap permukaan air laut, kondisi atmosfer standar, keadaan tanpa angin, dan kemiringan *runway* nol. Nilai ARFL didapat dari *manual* pesawat bersangkutan. Adapun ARFL pesawat B 737-900 adalah 2256 m. Perhitungan koreksi terhadap *runway* berdasarkan ARFL dan data karakteristik *runway* adalah sebagai berikut:

1. Koreksi Terhadap Elevasi

$$KE = \left(ARFL \times 7 \% \times \frac{\text{elevasi runway}}{300} \right) + ARFL$$

$$KE = \left(2256 \times 7 \% \times \frac{80.5}{300} \right) + 2256$$

$$KE = 2298.38 \text{ m}$$

2. Koreksi terhadap Elevasi Temperature (KET)

$$KET = [KE \times (\text{temperatur} - (15 - 0,0065h))] \times 1\% + KE$$

$$KET = [2298.3 \times (26.7 - (15 - 0,0065 \times 80.5))] \times 1$$

$$\% + 2298.38$$

$$KET = 2579.32 \text{ m}$$

3. Koreksi terhadap Elevasi, Temperatur dan Slope (KETS)

$$KETS = [KET \times \text{slope} \times 10\%] + KET$$

$$KETS = [2579.32 \times 0.15\% \times 10\%] + 2579.32$$

$$KETS = 2580 \text{ m}$$

Sehingga didapatkan panjang *runway* aktual atau TORA (*Take-off Run Available*) untuk pesawat Boeing 737 – 900 adalah 2580 m. Sedangkan panjang *runway* yang tersedia saat ini adalah 2650 m. Sehingga untuk pesawat dengan ARFL 2256 dapat menggunakan *runway* Bandara Sam Ratulangi Manado.

4.2.2. Evaluasi Lebar *Runway*

Pesawat paling besar yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi Manado adalah pesawat Boeing 737-900 dengan karakteristik yang tertera pada tabel 4.4. nilai ARC pesawat Boeing 737 - 900 adalah 4C. Dari tabel 4.4. dapat diketahui lebar *runway* adalah 45 m.

Tabel 4.4. Lebar *runway* berdasarkan *code number*

Code Number	Code Letter					
	A	B	C	D	E	F
1a	18 m	18 m	23 m	-	-	-
2	23 m	23 m	30 m	-	-	-
3	30 m	30 m	30 m	45 m	-	-
4	-	-	45 m	45 m	45 m	60 m

Sumber :SKEP 77-VI-2005

Sehingga untuk golongan 4C, landasan dengan lebar 45m masih sesuai kriteria.

4.3. Analisis Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP) dengan Topografi

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian kawasan keselamatan operasi penerbangan (KKOP) terhadap topografi sekitar Bandara Sam Ratulangi Manado. Hasil dari analisis ini diharapkan dapat diketahui apakah topografi sekitar Bandara Sam Ratulangi Manado tidak mengganggu kawasan keselamatan operasi penerbangan (KKOP) Bandara Sam

Ratulangi Manado sehingga keselamatan operasional penerbangan masih dapat terpenuhi.

4.3.1. Penentuan Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP)

Penentuan KKOP Bandara Sam Ratulangi berdasar pada Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor SKEP/76/IV/2005. Berdasarkan Air Nav Indonesia, Bandara Sam Ratulangi sudah menggunakan sistem navigasi ILS kategori I, sehingga digunakan desain *Precision Approach Runway*.

Tabel 4.5. Sistem Navigasi Bandara Sam Ratulangi

BANDARA - SAM RATULANGI		
NDB	NAUTEL	1988
DVOR	AWA	1992
DME	AWA	1992
ILS - LOC	WILCOX MK-20 A	2002
ILS - GP	WILCOX MK-20 A	2002
ILS - O M		

Sumber : AirNav Indonesia

1. *Non instrument*

Alat-alat bantu navigasi penerbangan untuk landas pacu yang dilengkapi dengan alat bantu navigasi penerbangan *Non Directional Beacon (NDB)*.

2. *Instrument non precision*

Alat-alat bantu navigasi penerbangan untuk landas pacu yang dilengkapi dengan alat bantu navigasi penerbangan *Doppler Very High Frequency Directional Omni Range (DVOR)* dan alat bantu pendaratan visual.

3. *Instrument precision*

Alat-alat bantu navigasi penerbangan untuk landas pacu yang dilengkapi alat bantu pendaratan *Instrument Landing System (ILS)* dan alat bantu pendaratan visual.

Tabel 4.6. Dimensi KKOP berdasarkan klasifikasi runway

OLS & Dimensions (in meters and percentages)	Runway Classification									
	Non – Instrument				Instrument					
					Non-Precision			Precision		II- III Code No
	Code No.				Code No			I Code No		
	1*	2	3	4	1,5	3	4	1,2	3,4	3,4
OUTER HORIZONTAL										
Height (m)									150	150
Radius (m)									15000	15000
CONICAL										
Slope	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Height (m)	35	55	75	100	60	75	100	60	100	100
INNER HORIZONTAL										
Height (m)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Radius (m)	2000	2500	4000	4000	3500	4000	4000	3500	4000	4000
APPROACH										
Length of inner edge (m)	60	80	159°	150	90	150	300°	150	300	300
Distance from threshold (m)	30	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Divergence each side	10%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
First section length (m)	1600	2500	3000	3000	2500	3000	3000	3000	3000	3000
Slope	5%	4%	3,33%	2,5%	3,33%	3,33%	2%	2,5%	2%	2%
Second section length (m)	-	-	-	-	-	3600°	3600	12000	3600	3600
Slope	-	-	-	-	-	2,5%	2,5%	3%	2,5%	2,5%
Horizontal section length (m)	-	-	-	-	-	8400°	8400	-	8400	8400
Total length (m)	1600	2500	3000	3000	2500	15000°	15000	15000	15000	15000
INNER APPROACH										
Width (m)								90	120	120
Distance from threshold (m)								60	60	60
Length (m)								900	900	900
Slope								2,5%	2%	2%
TRANSITIONAL										
Slope	20%	20%	14,3%	14,3%	20%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%
INNER TRANSITIONAL										
Slope								40%	33,3%	33,3%
BAUL KED LANDING										
Length of inner edge (m)								90	120	120
Distance from threshold (m)								°	1800	1800
Divergence each side								10%	10%	10%
Slope								4%	3,3%	3,3%

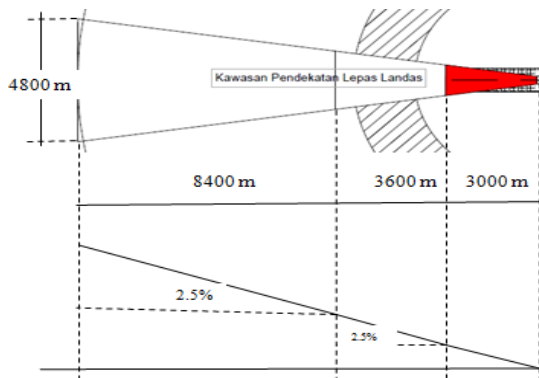
Sumber : SKEP 77-VI-2005

Untuk desain bandara Sam Ratulangi, digunakan *Precision Approach Runways* dengan pesawat kritis kategori 4C, spesifikasi KKOP disesuaikan dengan ketentuan pada tabel 4.6. di atas dengan uraian sebagai berikut.

1. Kawasan Pendekatan Lepas Landas (*Approach*)

adalah suatu kawasan perpanjangan kedua ujung landas pacu, di bawah lintasan pesawat udara setelah lepas landas atau akan mendarat, yang dibatasi oleh ukuran panjang dan lebar tertentu.

Kawasan ini dibatasi oleh tepi dalam yang berhimpit dengan ujung-ujung permukaan utama berjarak 60 meter dari ujung landas pacu dengan lebar bagian dalam, kawasan ini melebar ke arah luar secara teratur dengan sudut pelebaran 15% serta garis tengah bidangnya merupakan perpanjangan dari garis tengah landas pacu dengan jarak mendarat pertama adalah 3000m dengan kemiringan ketinggian dari landas pacu adalah 2 %, jarak mendarat kedua adalah 3600m dari jarak mendarat pertama dengan kemiringan 2.5%, dan jarak mendarat ketiga adalah 8400m dari jarak mendarat kedua dengan kemiringan 2.5% sehingga jumlah jarak mendarat keseluruhan adalah 15000m dengan lebar akhir kawasan ini adalah 4800m.

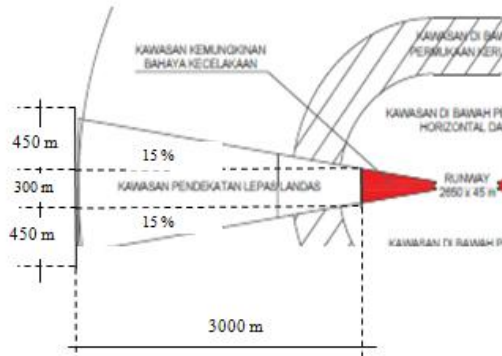


Gambar 4.1. Kawasan Pendekatan Lepas Landas

2. Kawasan Kemungkinan Bahaya Kecelakaan

adalah sebagian dari kawasan pendekatan yang berbatasan langsung dengan ujung-ujung landas pacu dan mempunyai ukuran tertentu, yang dapat menimbulkan kemungkinan terjadinya kecelakaan.

Kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan dibatasi oleh tepi dalam yang berhimpit dengan ujung-ujung permukaan utama dengan lebar 300 meter. Kawasan ini meluas keluar secara teratur dengan garis tengahnya merupakan perpanjangan dari garis tengah landas pacu sampai lebar 1200 meter dan jarak mendatar 3000 meter dari ujung permukaan utama. Kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan dapat dilihat dalam gambar 4.2. berikut.



Gambar 4.2. Kawasan Kemungkinan bahaya kecelakaan

$$\tan \theta = \frac{a}{b}$$

$$15\% = \frac{a}{3000}$$

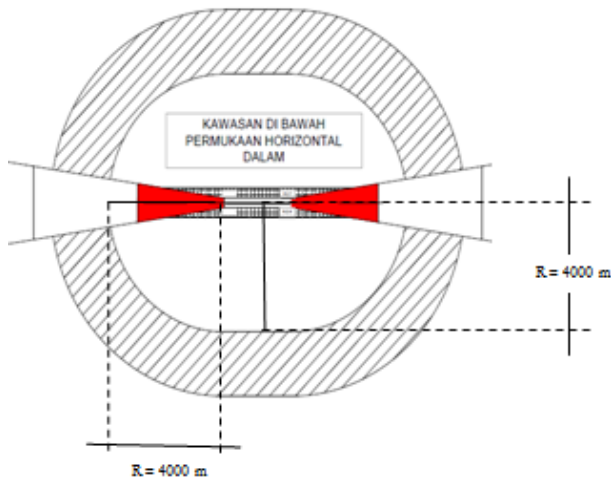
$$a = 15\% \times 3000$$

$$a = 450 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar total} &= 450 + 300 + 450 \\ &= 1200 \text{ m} \end{aligned}$$

3. Kawasan di bawah permukaan horizontal dalam adalah bidang datar di atas dan di sekitar bandar udara yang dibatasi oleh radius dan ketinggian dengan ukuran tertentu untuk kepentingan pesawat udara melakukan terbang rendah pada waktu akan mendarat atau setelah lepas landas.

Kawasan di bawah permukaan horizontal dalam seperti pada gambar 4.3. dibatasi oleh lingkaran dengan radius 4000 m dari titik tengah tiap ujung permukaan utama dengan ketinggian 45 m serta menarik garis singgung pada kedua lingkaran yang berdekatan tetapi kawasan ini tidak termasuk kawasan di bawah permukaan transisi.

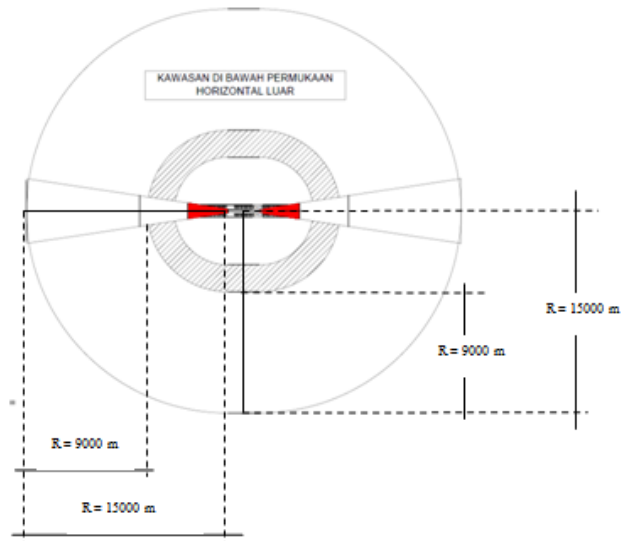


Gambar 4.3. Kawasan di bawah permukaan horizontal dalam

4. Kawasan di bawah permukaan horizontal luar

adalah bidang datar di sekitar bandar udara yang dibatasi oleh radius dan ketinggian dengan ukuran tertentu untuk kepentingan keselamatan dan efisiensi operasi penerbangan antara lain pada waktu pesawat melakukan pendekatan untuk mendarat dan gerakan setelah tinggal landas atau gerakan dalam hal mengalami kegagalan dalam pendaratan.

Kawasan di bawah permukaan horizontal luar seperti pada gambar 4.4. dibatasi oleh lingkaran dengan radius 15000 meter dari titik tengah tiap ujung permukaan utama dengan ketinggian 150 m dan menarik garis singgung pada kedua lingkaran yang berdekatan tetapi kawasan ini tidak termasuk kawasan di bawah permukaan transisi, kawasan di bawah permukaan horizontal dalam, kawasan di bawah permukaan kerucut.

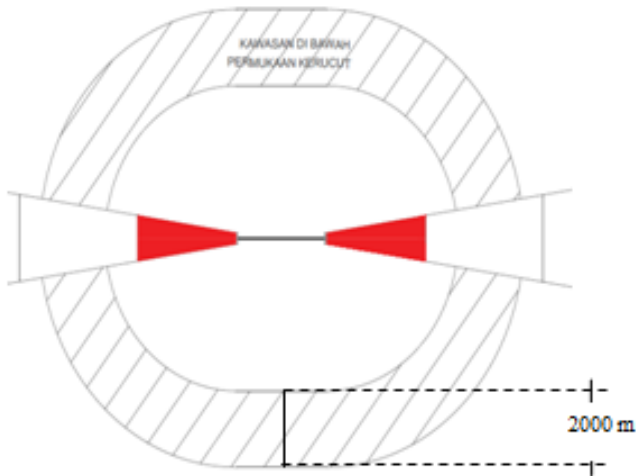


Gambar 4.4. Kawasan di bawah horizontal luar

5. Kawasan di bawah permukaan kerucut

adalah bidang dari suatu kerucut yang bagian bawahnya dibatasi oleh garis perpotongan dengan horizontal dalam dan bagian atasnya dibatasi oleh garis perpotongan dengan permukaan horizontal luar, masing-masing dengan radius dan ketinggian tertentu dihitung dari titik referensi yang ditentukan.

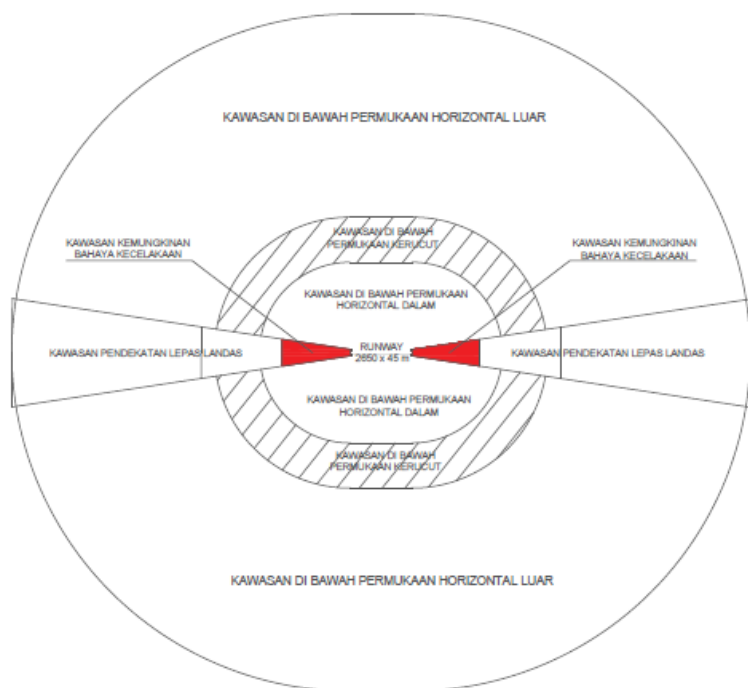
Kawasan di bawah permukaan kerucut seperti pada gambar 4.5. dibatasi dari tepi luar kawasan di bawah permukaan horizontal dalam meluas dengan jarak mendatar 2000 meter dengan kemiringan 5%.



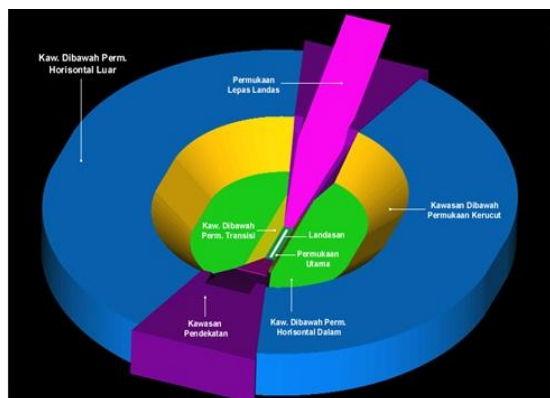
Gambar 4.5. Kawasan di bawah permukaan kerucut

6. Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan

Kawasan keselamatan operasi penerbangan diwujudkan/berada dalam sistem koordinat bandar udara (*Aerodrome Coordinate System/ACS*) dan sistem koordinat geografis dalam referensi *World Geodetic System 1984 (WGS'84)*. Kawasan keselamatan operasi penerbangan secara keseluruhan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6. Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan



Gambar 4.7. Gambar ilustrasi KKOP 3D

4.3.2. Topografi di Bawah Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan

Kawasan keselamatan operasi penerbangan mempunyai batas ketinggian tertentu, seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 4.3.1. yaitu penentuan kawasan keselamatan operasi penerbangan Bandara Sam Ratulangi. Halangan yang melebihi batas KKOP penerbangan harus diberikan perlakuan khusus. Berdasarkan SNI 03-7112-2005 tentang KKOP menyebutkan pada poin 8.6 bahwa bangunan atau suatu benda yang ada secara alami berada di kawasan keselamatan operasi penerbangan dan ketinggiannya masih dalam batas ketinggian yang diperkenankan akan tetapi diduga dapat membahayakan keselamatan operasi penerbangan, harus diberi tanda atau dipasang lampu. Pemberian tanda atau pemasangan lampu termasuk pengoperasian dan pemeliharaan dilaksanakan oleh dan atas biaya pemilik atau yang menguasainya. Guna mengetahui luasan wilayah dan ketinggian wilayah dibawah KKOP, perlu diketahui tinggi kontur pada batas Gambar di bawah. menunjukkan plotting KKOP terhadap kontur.



Gambar 4.8. KKOP terhadap kontur topografi wilayah sekitar Bandara Sam Ratulangi Manado
Sumber : Google Earth

4.3.3. Evaluasi KKOP Bandara Sam Ratulangi terhadap Topografi

Evaluasi KKOP dilakukan guna mengetahui apakah ketinggian topografi pada wilayah ini memenuhi keselamatan operasi yaitu tidak melebihi dari batas yang disyaratkan. Dalam evaluasi ini penulis memilih untuk menggunakan google earth untuk mengetahui elevasi topografi bawah kawasan keselamatan operasi penerbangan. Dalam hal ini ditentukan potongan memanjang dan melintang pada KKOP seperti pada gambar. Kemudian dapat dilihat hasil grafik elevasi garis memanjang dan melintang KKOP seperti pada gambar untuk elevasi dari potongan memanjang dan pada gambar untuk elevasi melintang di bawah KKOP.



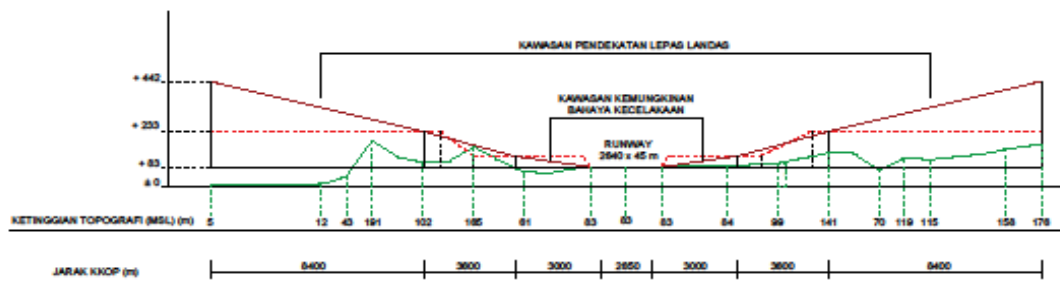
Gambar 4.9. Menentukan Potongan memanjang (A-A) dan Melintang (B-B)



Gambar 4.10. Elevasi Potongan Menanjang (A-A)

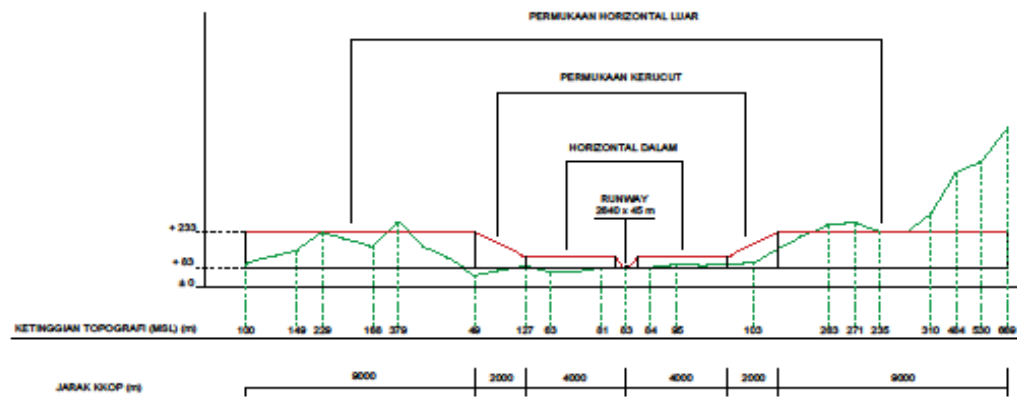


Gambar 4.11. Elevasi Potongan Melintang (B-B)



Gambar 4.12. Potongan Memanjang (A - A) KKOP terhadap Topografi

Keterangan Gambar :	— :	Garis Kontur Topografi	— :	Garis Batas KKOP	MSL :	Mean Sea Level (m)
---------------------	--	------------------------	--------------------------------------	------------------	-------	----------------------



Gambar 4.13. Potongan Melintang (B - B) KKOP terhadap Topografi

Halaman ini sengaja dikosongkan

Batas ketinggian KKOP dan elevasi topografi pada potongan memanjang dan melintang KKOP digabungkan sehingga dapat diketahui dengan jelas kenampakan KKOP terhadap topografi Bandara Sam Ratulangi. Pada gambar 4.13. menunjukkan bahwa elevasi topografi tidak melebihi batas ketinggian kawasan keselamatan operasi Bandara Sam Ratulangi. Pada gambar 4.14. menunjukkan bahwa elevasi topografi melebihi batas kawasan keselamatan operasional. Berdasarkan SNI 03-7112-2005 tentang kawasan keselamatan operasi penerbangan bahwa terhadap bangunan yang berupa benda tidak bergerak yang sifatnya sementara maupun tetap yang didirikan atau dipasang oleh orang atau yang telah ada secara alami, seperti: gedung-gedung, menara, cerobong asap, gundukan tanah, jaringan transmisi, bukit dan gunung yang menjadi penghalang atau *obstacle* saat ini tetap diperbolehkan sepanjang prosedur keselamatan operasi penerbangan terpenuhi. Hal terpenting yang diperhatikan adalah tidak adanya halangan pada kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan dan batas ketinggian *approach* seperti yang disebutkan pada poin 8.2 SNI 03-7112-2005 bahwa pada kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan sampai jarak 1.100 m dari ujung-ujung permukaan utama hanya digunakan untuk bangunan yang diperuntukkan bagi keselamatan operasi penerbangan dan benda tumbuh yang tidak membahayakan keselamatan operasi penerbangan dengan batas ketinggian ditentukan oleh kemiringan 5% arah ke atas dan ke luar dimulai dari ujung permukaan utama pada ketinggian masing-masing ambang landasan sepanjang arah mendarat 1.100 meter dari permukaan utama melalui garis tengah landasan.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada arah memanjang *runway*, kawasan keselamatan operasi penerbangan Bandara Sam Ratulangi terhadap topografi memenuhi syarat dan tidak menimbulkan masalah. Sedangkan, pada arah melintang *runway*, kawasan operasi penerbangan Sam Ratulangi terhadap topografi tidak memenuhi, karena elevasi topografi lebih tinggi dari pada elevasi KKOP.

4.3.4. Evaluasi Terhadap Bangunan Tinggi

Setelah batas wilayah dan batas ketinggian KKOP diketahui, selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap gedung dan bangunan tinggi yang berada dalam lingkup KKOP. Dalam tahap ini, diketahui ada beberapa bangunan yang melebihi batas ketinggian KKOP yang berada dalam wilayah KKOP. Lokasi bangunan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14. Lokasi Bangunan yang Melebihi Batas Ketinggian KKOP

Untuk informasi ketinggian topografi dan bangunan yang melebihi batasan ketinggian dari KKOP bisa dilihat dalam Tabel 4.7. Pada dalam Tabel 4.7. juga terdapat koordinat lokasi bangunan serta berapa kelebihan tinggi bangunan tersebut dari batas KKOP yang telah ditentukan.

Tabel 4.7. Bangunan Tinggi di Wilayah KKOP

NO	KETERANGAN	KOORDINAT			WILAYAH	KELEBIHAN TINGGI (m)
		lintang (⁰)	bujur (⁰)	elevasi (m)		
A	Topografi	1.538	125.037	665	Horizontal luar	432
B	Topografi	1.556	124.841	446	Horizontal luar	213
C	Manado Town Square	1.469	124.830	630	Horizontal luar	397
D	Ibis Hotel Manado	1.473	124.833	588	Horizontal luar	355
E	Aryaduta Siloam Manado	1.487	124.837	504	Horizontal luar	291
F	Swiss Belhotel Maleosan	1.489	124.847	504	Horizontal luar	291
G	Hotel Sintesa Peninsula	1.491	124.843	462	Horizontal luar	229
H	Hotel Aston Manado	1.490	124.841	422	Horizontal luar	189

Dari hasil evaluasi, terdapat beberapa topografi dan bangunan tinggi yang berada dalam wilayah KKOP. Koordinat dari masing – masing bangunan diketahui dalam Tabel 4.7. Untuk mengetahui kelebihan tinggi, dapat dilihat dalam ilustrasi Gambar 4.15. di bawah ini.



Gambar 4.15. Ilustrasi Ketinggian Bangunan yang melebihi
KKOP

Dari Gambar 4.15. diketahui bahwa bangunan tersebut melebihi batas ketinggian KKOP. Contoh permasalahan pada Bangunan C yaitu Manado Town Square. Manado Town Square masih berada dalam wilayah KKOP yaitu di wilayah Horizontal Luar. Diketahui bahwa batas ketinggian Horizontal Luar adalah 233 m dari permukaan laut (*msl*). Manado Town Square memiliki elevasi 630 m dari permukaan laut (*msl*). Sehingga kelebihan tingginya adalah sebagai berikut.

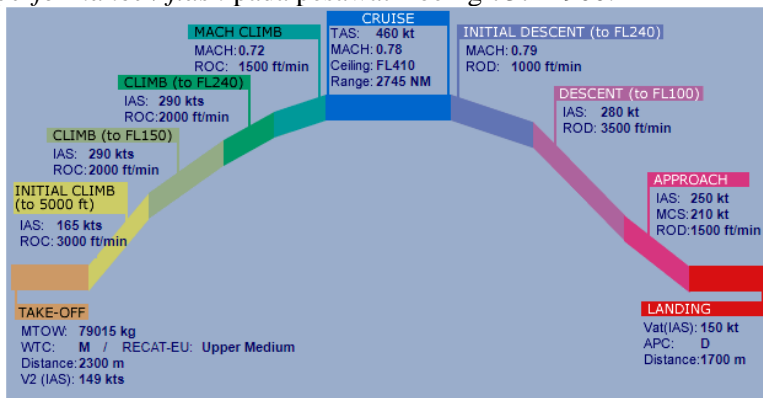
$$\begin{aligned}\text{Kelebihan tinggi} &= \text{elevasi gedung (m)} - \text{batas ketinggian KKOP} \\ &= 630 \text{ m} - 233 \text{ m} \\ &= 397 \text{ m}\end{aligned}$$

Sehingga Bangunan Manado Town Square yang berada di wilayah Horizontal Luar memiliki kelebihan tinggi 397 m dari batas KKOP. Berdasarkan SNI 03-7112-2005 tentang kawasan keselamatan operasi penerbangan bahwa terhadap bangunan yang berupa benda tidak bergerak yang sifatnya sementara maupun tetap yang didirikan atau dipasang oleh orang atau yang telah ada secara alami, seperti: gedung-gedung, menara, cerobong asap, gundukan tanah, jaringan transmisi, bukit dan gunung yang menjadi penghalang atau *obstacle* saat ini tetap diperbolehkan sepanjang prosedur keselamatan operasi penerbangan terpenuhi. Hal terpenting yang diperhatikan adalah tidak adanya halangan pada kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan dan batas ketinggian Kawasan Pendekatan Lepas Landas (*approach*) seperti yang disebutkan pada SNI 03-7112-2005.

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan KM No 44 Tahun 2005 tentang pemberlakuan SNI 03-7112-2005, solusi untuk bangunan atau sesuatu benda yang melebihi batas ketinggian dan berpotensi membahayakan keselamatan operasi penerbangan harus diberi tanda atau dipasang lampu. Pemberian tanda atau pemasangan lampu termasuk pengoperasian dan pemeliharannya dilaksanakan oleh dan atas biaya pemilik atau yang menguasainya.

4.4. Analisis Pola Pergerakan Masing – masing Pesawat yang Beroperasi di Bandara Sam Ratulangi Manado

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pola pergerakan masing-masing pesawat yang beroperasi. Dalam melakukan analisis pola pergerakan pesawat, data pokok yang dibutuhkan adalah *aircraft performance / flash* masing-masing pesawat. Berikut ini adalah contoh *flash* pesawat kritis yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi Manado. Gambar 4.16 adalah *aircraft performance / flash* pada pesawat Boeing 737 – 900.



Gambar 4.16. *flash* pada pesawat Boeing 737 – 900

Sumber :

<https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/details.aspx?ICAO=B739&NameFilter=boeing>

Dari Gambar 4.16. diketahui pola pergerakan Boeing 737 – 900. Dimulai dari pergerakan pesawat saat *take off* dengan MTOW 79015, jarak *take off* yang dibutuhkan *distance* 2300 m, serta kecepatan V2 (IAS) 149 kts yang dibutuhkan pesawat saat *take off*. Kemudian diketahui juga data *lift off*, *climb out*, *cruise*, *approach*, hingga *landing* pesawat Boeing 737 – 900. Dimana saat pesawat melakukan *landing*, pesawat Boeing 737 – 900 berada pada kecepatan 150 kts dengan jarak *landing* yang dibutuhkan 1700 m. Selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Pola Pergerakan Pesawat Boeing 737 - 900

Boeing 737 - 900	Tinggi	Beda Tinggi	IAS			ROC	Jarak			Sudut	Jarak Total
	1	2	3			4	5			6	7
	ft	ft	kts	mach	fpm	fpm	Nm	ft	m	degree	m
Take off	0		149		15089.0				2300		2300.0
Initial Climb	5000	5000	165		16709.3	3000	4.58	27848.8	8493.9	10.18	10793.9
Climb	15000	10000	290		29368.0	2000	24.17	146839.4	44786.0	12.59	55579.9
	24000	9000	290		29368.0	2000	21.75	132155.5	40307.4	12.59	95887.3
Mach Climb	41000	17000		0.72	48230.1	1500	0	550134.3	168043.0	1.77	263930.4
Cruise	41000	0		0.78	52249.2	460	2745	0	5087075.7	0	5351006.2
Initial Descent	24000	17000		0.79	52919.1	1000	0	258694.1	79020.2	3.75	5430026.4
Descent	10000	14000	280		28355.3	3500	18.67	113420.8	34593.3	7.04	5464619.8
Approach	0	10000	250		25317.2	1500	27.78	168780.9	51478.2	3.39	5516098.0
Landing	0		150		15190.3		0	0.0	1700.0	0	5517798.0

Tinggi yang dicapai pesawat (kolom 1 tabel di atas) adalah tinggi yang dicapai pesawat sehingga pesawat berada pada pola ketinggian tersebut. Misalkan pada pola *Initial Climb* adalah pola dimana pesawat mencapai ketinggian 5000ft (1524 meter) dari ketinggian setelah take off.

Beda tinggi (2) pergerakan pesawat adalah beda tinggi antar dua pola. Misalkan pada pola *climb* pertama, pesawat mencapai ketinggian FL150 (15000ft) dari pola sebelumnya yaitu initial climb 5000ft. Beda tinggi pada pola climb adalah selisih ketinggian pada saat initial climb dan climb pertama yaitu 10000ft.

IAS (*Indicated Airspeed*) (3) adalah kecepatan kritis suatu pesawat menuju ketinggian tertentu.

ROC (*Rate of Climb*) (4) adalah kecepatan vertikal suatu pesawat yang beroperasi. Dalam hal ini ketinggian berubah seiring berubahnya waktu. *Rate of climb* telah diketahui pada *aircraft performance*.

Jarak horizontal (5) didapatkan dari data beda tinggi, *Rate of Climb*, dan *ground speed*. Dicontohkan pada initial climb sebagai berikut.

$$\text{Jarak (nm)} = \frac{\text{Beda tinggi (ft)}}{\text{ROC (fpm)}} \times \frac{\text{Ground Speed (kts)}}{60}$$

$$\text{Jarak (nm)} = \frac{(5000\text{ft} - 0\text{ft})}{3000\text{fpm}} \times \frac{165 \text{ kts}}{60}$$

$$\text{Jarak (nm)} = 4.58 \text{ nm}$$

$$\text{Jarak (ft)} = (4.58 \times 6076.12) \text{ ft} = 27848.86 \text{ ft}$$

$$\text{Jarak (m)} = (27848.86 \times 0.305) \text{ m} = 8493.90 \text{ m}$$

Dalam setiap pola penerbangan mempunyai sudut (6) terbang terhadap horizontal. Sudut tersebut diperoleh dari rumus sebagai berikut.

$$\theta^{\circ} = \tan^{-1} \frac{\text{beda tinggi (ft)}}{\text{Jarak (ft)}}$$

$$\theta^{\circ} = \tan^{-1} \frac{5000\text{ft}}{27848.83 \text{ ft}}$$

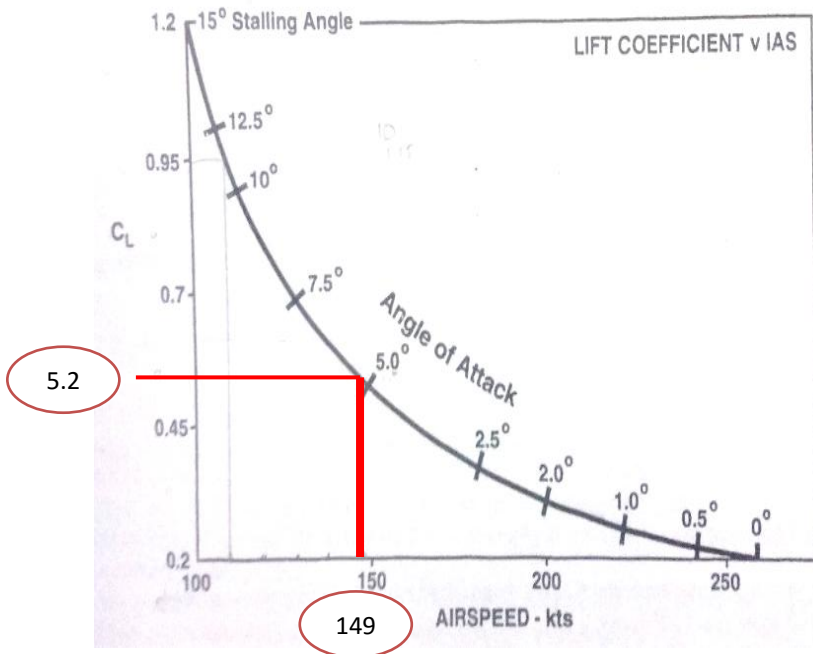
$$\theta^{\circ} = 10.18^{\circ}$$

Jarak total (7) adalah jarak tempuh pesawat dari mulai diam dikumulatikan dengan jarak tiap pola pergerakannya.

Dalam pola pergerakan lepas landas, terdapat jarak lepas landas (*take off distance*) yang merupakan jarak horizontal yang diperlukan untuk lepas landas dengan mesin tidak bekerja tetapi pesawat telah mencapai ketinggian 10,7 M (35 Ft) di atas permukaan landasan.

Sepanjang jarak lepas landas ini, pesawat mengalami *lift off* yaitu saat badan pesawat mulai terangkat dari landasan. Terdapat batas maksimum sudut *lift* pesawat terhadap horizontal yaitu *angle of attack*.

Berikut ini adalah contoh perhitungan pola pergerakan pesawat saat *lift off* pesawat boeing 737-900. Pesawat boeing 737-900 mempunyai airspeed 149 kts, di masukkan ke dalam grafik pada Gambar di bawah.



Gambar 4.17. Grafik Angle of Attack

Sumber : Swatton, 2008

Grafik antara airspeed (kts) dengan *coefficient of lift* menunjukkan pada kecepatan 149 kts, boeing 737-900 mempunyai *angle of attack* 5,2°. *Angle of attack* tersebut kemudian dimasukkan ke dalam perhitungan berikut.

$$\text{TOR (m)} = \text{TOD(m)} - \left(\frac{10.7 \text{ m}}{\tan(\text{angle of attack})^\circ} \right)$$

$$\text{TOR (m)} = 2300 \text{ m} - \left(\frac{10.7 \text{ m}}{\tan(5.2)^\circ} \right)$$

$$\text{TOR (m)} = 2300 \text{ m} - 117.57 \text{ m}$$

$$\text{TOR (m)} = 2182.43 \text{ m}$$

Sehingga di dapat *take off run* untuk pesawat Boeing 737 – 900 dengan perhitungan *angle of attack* 5.2° adalah 2182.43 m.

Untuk perhitungan *take off run* pesawat lainnya juga dilakukan dengan metode yang sama seperti pada perhitungan *take off run* pesawat Boeing 737 – 900 di atas. Hasil dari perhitungan *take off run* pesawat lainnya dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 4.9. Hasil Perhitungan *Take off Run*

Pesawat	V2	TOD	Angle of Attack	Ketinggian Lift	TOR
	kts	m	°	m	m
Boeing 737-900	149	2300	5.2	10.7	2182.43
Boeing 737-800	145	2300	5.5	10.7	2188.88
Boeing 737-500	139	1500	6.0	10.7	1398.19
Airbus A320	145	2190	5.5	10.7	2078.88
Bombardier CRJ 1000	155	1996	5.7	10.7	1888.79
ATR 42	110	1100	11.2	10.7	1045.96
ATR 75	110	1500	11.2	10.7	1445.96

Selanjutnya dilakukan analisis kesesuaian pola pergerakan pesawat dengan topografi Bandara Sam Ratulangi Manado dengan menggunakan data *take off run* dan *angle of attack* masing – masing pesawat.

4.4.1 Analisis Kesesuaian Pergerakan Masing – masing Pesawat yang Beroperasi dengan Topografi

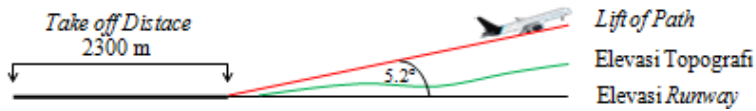
Analisis topografi dalam tugas akhir ini dilakukan pengamatan pada penampakan topografi searah dengan *approach runway* yang kemudian akan di evaluasi terhadap pola pergerakan pesawat Boeing 737 – 900 terhadap topografi Bandara Sam Ratulangi Manado. Gambar berikut merupakan bentuk topografi yang diambil dari tengah *runway* ke arah 36 sepanjang 16.925 km dan arah 18 sepanjang 16.925 km.



Gambar 4.18. Topografi kawasan bandara pada arah *runway* 18 - 36

Setelah mengetahui elevasi topografi kawasan bandara, dilakukan evaluasi pola pergerakan terhadap topografi. Dilakukan evaluasi terhadap ketinggian pesawat saat lift off terlebih dahulu. Jika elevasi permukaan tanah ditambah dengan jarak ijin ketinggian (10.7 m) antara permukaan tanah dan pesawat memenuhi syarat, maka untuk pola pergerakan pesawat selanjutnya yang lebih tinggi, tidak akan mengganggu keselamatan penerbangan.

Dicontohkan jenis pesawat boeing 737- 900 dengan *take off distance* 2300 meter dan mengalami *lift off* menuju ketinggian 35ft (10,7 m) ke arah *runway* 36. Setelah diperhitungkan dan mendapatkan sudut *lift off* 5.2° maka dapat digambarkan sebagai pergerakan pesawat saat lepas landas (*take off*) adalah seperti pada Gambar 4.19. berikut.



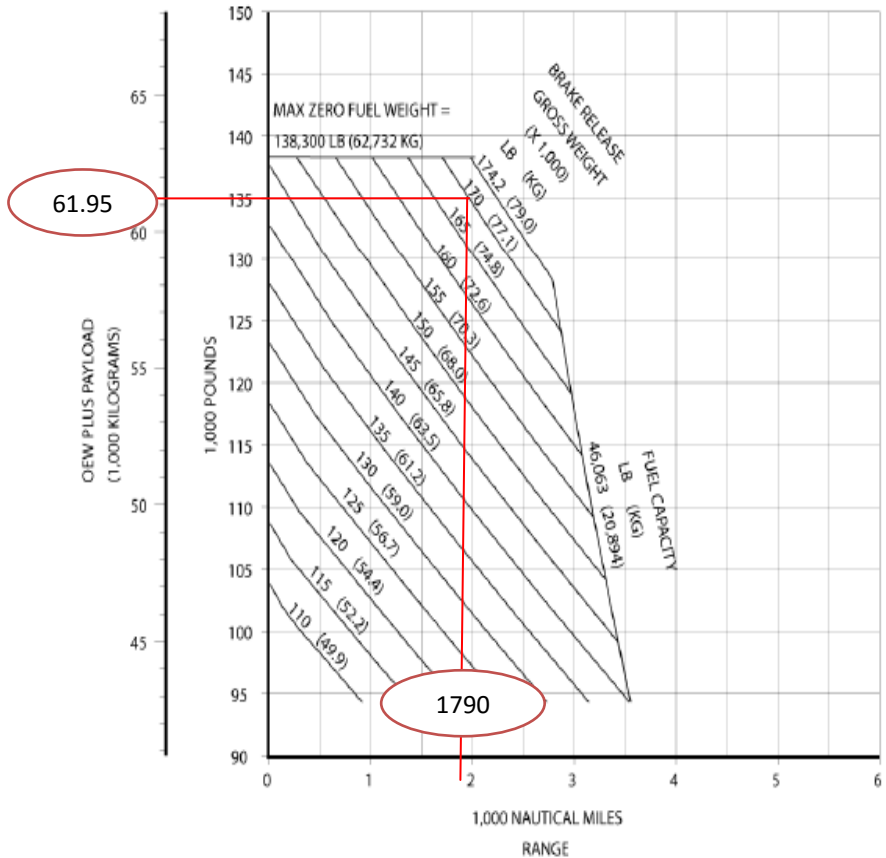
Gambar 4.19. *Lift off* pesawat

Dari gambar di atas tersebut, biru merupakan topografi permukaan tanah, hitam merupakan garis horizontal sejajar *runway* bandara, dan merah merupakan garis penerbangan pesawat setelah *lift off*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pesawat tidak mengalami gangguan keselamatan saat melakukan *lift off*. Sehingga untuk pola-pola pergerakan pesawat berikutnya, tidak akan mengganggu keselamatan operasional.

4.5. Pengaruh Berat Pesawat terhadap Ruang Udara

Beberapa kasus yang disebabkan oleh terlalu berlebihannya beban pesawat adalah pesawat akan membutuhkan kecepatan untuk take off yang lebih besar, yang membuat take off run lebih panjang. Pesawat yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi jarak terjauh adalah Bandara Shanghai Pudong. Berat pesawat, panjang *runway*, kapasitas bahan bakar pesawat dan kawasan keselamatan sangat mempengaruhi destinasi suatu pesawat. Oleh karena itu dilakukan perhitungan berikut untuk mengetahui efektivitas operasional pesawat terhadap ruang udara yang memenuhi keselamatan operasional di Bandara Sam Ratulangi Manado.

Pesawat kritis yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi adalah Boeing 737- 900. Jarak maksimum yang ditempuh pesawat adalah Bandara Sam Ratulangi Manado – Bandara Shanghai Pudong Tiongkok dengan jarak 1790 *nautical miles*. Range/jarak yang telah diketahui dimasukkan ke dalam grafik gambar 4.20.



Gambar 4.20. Grafik pengaruh *range* dan *payload* pesawat Boeing 737 – 900
Sumber : Boeing, 2013

Dari grafik gambardengan range 1790 nm didapatkan OWE *plus payload* adalah 61950 kg dengan *Brake Release Gross Weight* adalah 77100 kg.

Dari *manual* Pesawat Boeing 737 – 900 diketahui nilai OEW boeing 737-900 adalah 42493 kg. Sehingga perhitungan untuk *payload* pada penerbangan pesawat Boeing 737 – 900 yang beroperasi dari Bandara Sam Ratulangi Manado ke Bandara Shanghai Pudong Tiongkok adalah sebagai berikut.

Payload = OEW *plus payload* pada grafik – OEW

Payload = 61950 – 42493 kg

Payload = 19457 kg

Nilai *payload* yang didapat dari perhitungan di atas yaitu 19457 kg. Setelah mendapatkan nilai *payload*, dilakukan juga perhitungan konsumsi bahan bakar pesawat Boeing 737- 900 pada destinasi dari Bandara Sam Ratulangi Manado ke Bandara Shanghai Pudong Tiongkok sebagai berikut.

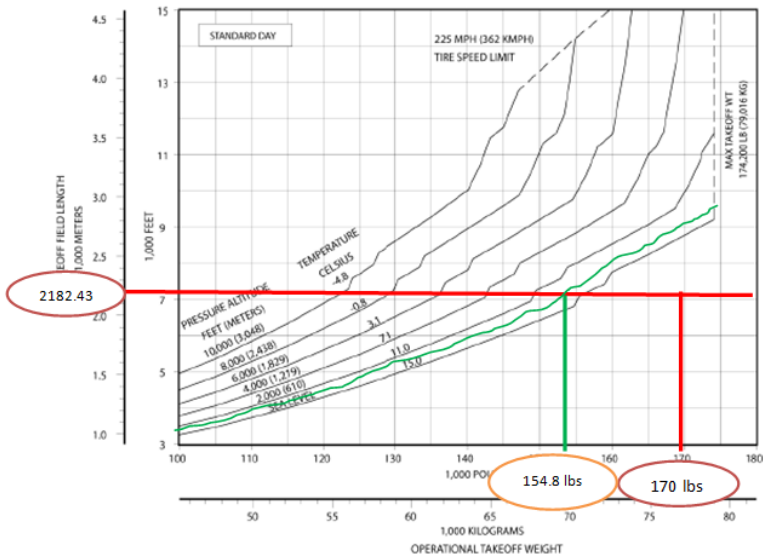
Konsumsi *fuel* = *Brake Release Gross Weight* – *Zero Fuel Weight*

Konsumsi *fuel* = 77100 kg – 62732 kg

Konsumsi *fuel* = 15363 kg

Konsumsi *fuel* = 18475.60 liter

Sehingga di dapat konsumsi *fuel* pesawat Boeing 737 – 900 dengan destinasi dari Bandara Sam Ratulangi Manado ke Bandara Shanghai Pudong Tiongkok adalah sebesar 15363 kg atau dengan perhitungan massa jenis avtur 0.820 kg/liter didapatkan konsumsi *fuel* pesawat Boeing 737 – 900 dari Bandara Sam Ratulangi Manado ke Bandara Shanghai Pudong Tiongkok adalah 18475.60 liter.



Gambar 4.21. Grafik *Operational Take off Weight* untuk Pesawat Boeing 737 – 900
Sumber : Boeing, 2013

Dengan *Take off distance* 2182.43 m, maka dapat dilihat pada grafik di atas bahwa dengan elevasi *runway* 83 m diatas permukaan air laut, maka seharusnya *Operational Take off Weight / Aircraft Gross Weight (AGW)* adalah sebesar 154800 lbs (70216 kg).

Namun berdasarkan klasifikasinya, dalam rute penerbangan ini berat pesawat mencapai 170000 lbs (77100 kg). Sehingga *maximum payload* pada penerbangan ini sebagai berikut.

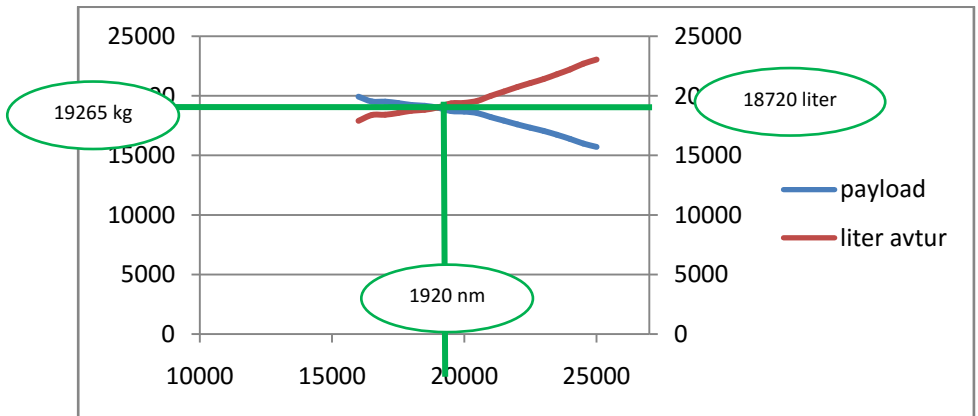
$$\text{Max Payload} = \text{AGW} - \text{bahan bakar} - \text{OWE}$$

$$\text{Max Payload} = (70216 - 15150 - 42493) \text{ kg}$$

$$\text{Max Payload} = 12573 \text{ kg}$$

Destinasi pesawat dari Bandara Sam Ratulangi menuju Bandara Shanghai Pudong memerlukan waktu 17400s (4 jam 50 menit) dengan Boeing 737- 900. Dalam radius destinasi 1790 nm pesawat dapat menghabiskan bahan bakar sebesar 18475.60 liter. Sehingga, konsumsi bahan bakar pesawat per panjang destinasi yag ditempuh adalah 10.32 liter/nautical miles.

Dalam evaluasi ini, perlu diketahui destinasi optimum dengan komposisi *fuel* dan *payload* terbaik dalam operasional pesawat boeing 737- 900. Semakin jauh destinasi suatu pesawat, maka akan semakin besar pula *fuel* yang dikonsumsi dan semakin berkurang *payload* dalam pesawat tersebut. Sehingga dibuatlah grafik *payload*, *fuel*, dan jarak.



Gambar 4.22. Grafik *payload*, *fuel* dan jarak operasional Boeing 737 - 900

Gambar di atas menunjukkan bahwa operasional pesawat optimum pada jarak tempuh 1920 nm (3555 km) dengan mengkonsumsi bahan bakar sebesar 18720 liter dan *payload* sebesar 19265 kg.

Sehingga destinasi pesawat boeing 737-900 dapat ditambahkan tidak hanya pada radius 1790 nm (3315 km) Bandara Sam Ratulangi Manado – Bandara Internasional Pudong Tiongkok melainkan dapat ditambahkan destinasi hingga 1920 nm (3555 km).

Dapat disimpulkan bahwa pesawat boeing 737- 900 yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi Manado, dapat memperpanjang jarak tempuhnya sebesar 130 *nautical miles*.

4.6. Penentuan Potensi Rute Tambahan

Pada sub bab sebelumnya diketahui bahwa operasional pesawat optimum Boeing 737 – 900 yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi Manado adalah pada jarak tempuh 1920 nm (3555 km) dengan mengkonsumsi bahan bakar sebesar 18720 liter dan payload sebesar 19265 kg. Sehingga destinasi pesawat Boeing 737-900 dapat ditambahkan tidak hanya pada radius 1790 nm (Bandara Sam Ratulangi Manado – Bandara Shanghai Pudong) melainkan dapat ditambahkan destinasi hingga 1920 nm (3555 km) dan dapat menambah destinasinya sebagai berikut.

1. Bandara Internasional Jeju, Korea Selatan
2. Bandara Internasional Port Hedland, Australia
3. Bandara Internasional Cairns, Australia
4. Bandara Internasional Darwin, Australia
5. Bandara Internasional Taoyuan, Taiwan
6. Bandara Internasional Ninoy Aquino, Philipina
7. Bandara Internasional Suvarnabhumi, Thailand
8. Bandara Internasional Kuala Lumpur, Malaysia

Namun tidak semua rute bandara yang dapat ditempuh direkomendasikan. Rute potensial tambahan untuk penerbangan dari Manado dipilih atas dasar jumlah wisatawan yang datang ke Manado. Seperti pada latar belakang, pada juni 2016 sebelum ada *direct flight* dari Manado ke Tiongkok, jumlah wisatawan dari Tiongkok hanya 1.427 orang namun setelah dibuka *direct flight* dari Manado ke Tiongkok pada bulan Juli 2016 jumlah wisatawan naik 312,82 % menjadi 5.148 orang.

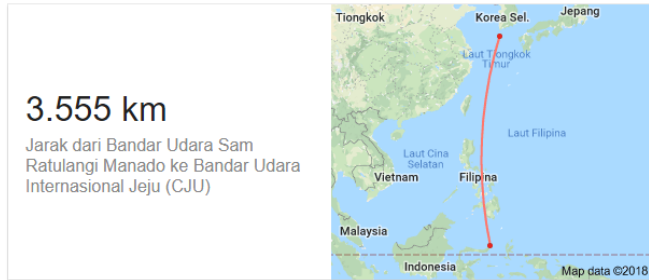
Minat wisatawan untuk berkunjung ke Manado dan didukung rute penerbangan langsung dari dan ke Manado menjadi dasar pemilihan rute potensial tambahan. Dari data Statistik Kota Manado bulan Januari 2018 diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 4.10. Jumlah Pengunjung Wisatawan Mancanegara Provinsi Sulawesi Utara menurut Kebangsaan Bulan Januari 2018

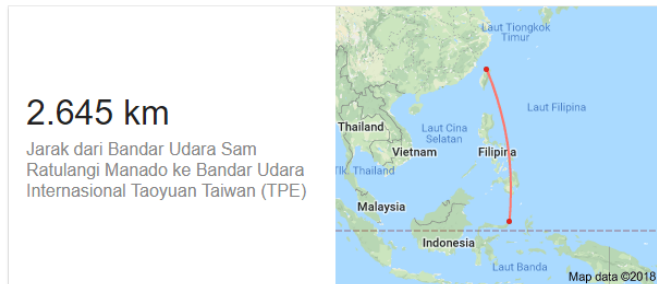
Kebangsaan	Jumlah Wisman (Orang) Januari 2018	%
(1)	(2)	(3)
Tiongkok	7,671	90,19
Amerika	97	1,14
Hongkong	85	1,00
Singapura	78	0,92
Perancis	68	0,80
Jerman	65	0,76
Malaysia	50	0,59
Australia	40	0,47
Inggris	33	0,39
Korea Selatan	30	0,35
Belanda	29	0,34
Philipina	16	0,19
Jepang	15	0,18
Taiwan	9	0,11
India	9	0,11
Rusia	8	0,09
Thailand	-	0,00
Lainnya	202	2,38
Jumlah	8,505	100

Sumber : BPS Kota Manado,2018

Wisatawan dari Tiongkok mendominasi jumlah kunjungan ke Manado dengan 7.7671 orang. Untuk Rute penerbangan langsung dari Amerika, Hongkong, Perancis, Jerman, Inggris, Belanda, India, dan Rusia tidak dapat dibuka karena jarak tempuh dari dan ke Manado melebihi jarak tempuh dari pesawat Boeing 737 – 900 yaitu 3555 km (1920 nm).



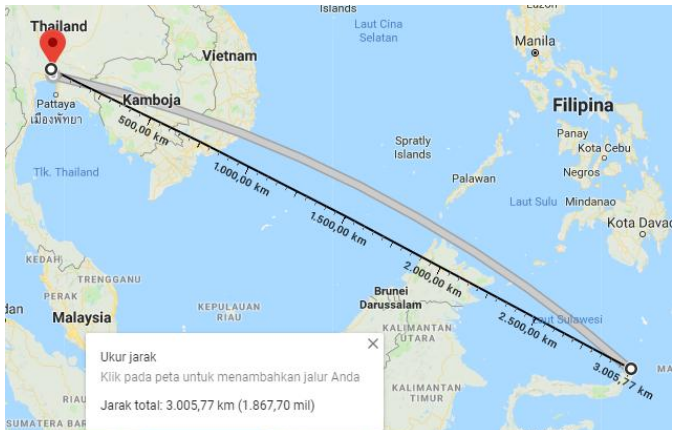
Rute penerbangan langsung dari Manado ke Korea Selatan juga dapat dibuka melalui Bandara Internasional Jeju, Korea Selatan dengan jarak 1892.5 nm.



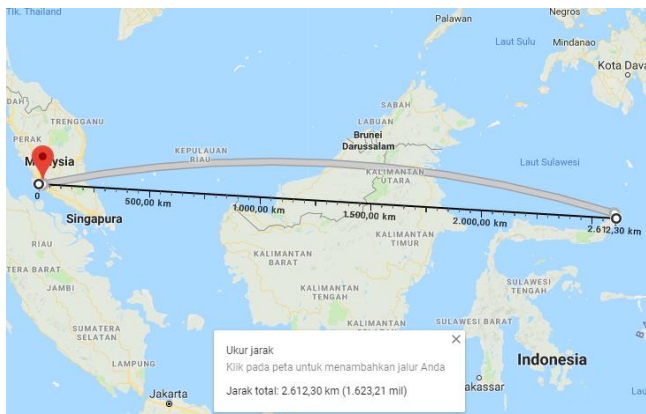
Rute penerbangan langsung dari Manado ke Taiwan dapat dibuka melalui Bandara Internasional Taoyua 1428 nm.



Rute penerbangan langsung dari Manado ke Philipina dapat dibuka melalui Bandara Internasional Ninoy Aquino 811 nm.



Rute penerbangan langsung dari Manado ke Thailand dapat dibuka melalui Bandara Internasional Suvarnabhumi 1867 nm.



Rute penerbangan langsung dari Manado ke Malaysia dapat dibuka melalui Bandara Internasional Kuala Lumpur 1623 nm.

Jarak dari Manado ke Australia bisa ditempuh kurang dari jarak optimum 3544 km (1914 nm) melalui bandara berikut.

2.531 km

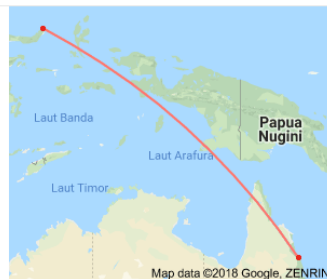
Jarak dari Bandar Udara Sam Ratulangi Manado ke Bandar Udara Internasional Port Hedland



- Bandara Internasional Port Hedland, Australia 1366nm

3.067 km

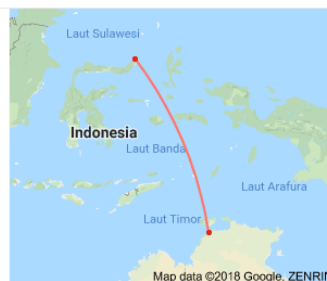
Jarak dari Bandar Udara Sam Ratulangi Manado ke Bandar Udara Cairns (CNS)



- Bandara Internasional Cairns, Australia 1656 nm

1.685 km

Jarak dari Bandar Udara Sam Ratulangi Manado ke Bandar Udara Internasional Darwin (DRW)



- Bandara Internasional Darwin, Australia 910 nm

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dalam evaluasi keselamatan operasional penerbangan dan potensi rute tambahan di Bandara Sam Ratulangi Manado, keselamatan operasional juga ditentukan oleh pergerakan pesawat yang tidak terganggu oleh topografi. Panjang *runway*, topografi, dan pola pergerakan pesawat sangat berpengaruh dalam evaluasi ketersediaan ruang udara dalam kaitannya dengan keselamatan operasional penerbangan di Bandara Sam Ratulangi.

Hasil dari Tugas Akhir yang telah disusun ini adalah sebagai berikut.

1. Hasil dari analisis *runway* terhadap Pesawat yang beroperasi di Bandara Sam Ratulangi Manado menunjukkan bahwa:
 - a. Untuk pesawat kritis Boeing 737 – 900, panjang runway aktual (*TORA*) ialah 2580 m sedangkan panjang runway yang tersedia ialah 2650. Sehingga untuk evaluasi panjang runway tersedia masih memenuhi.
 - b. Untuk lebar runway Bandara Sam Ratulangi ialah 45 m. Untuk pesawat kritis Boeing 737 - 900 dengan golongan 4c, landasan yang dibutuhkan ialah 45 m. Sehingga lebar runway yang tersedia juga masih memenuhi
2. Dari analisis Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP) dengan topografi wilayah sekitar Bandara Sam Ratulangi menunjukkan bahwa:
 - a. Pada arah memanjang runway, kawasan keselamatan operasi penerbangan Bandara Sam Ratulangi terhadap topografi memenuhi syarat dan tidak menimbulkan masalah.
 - b. Pada arah melintang runway, kawasan operasi penerbangan Bandara Sam Ratulangi terhadap topografi

tidak memenuhi, karena elevasi topografi lebih tinggi dari pada elevasi KKOP .

- c. Berdasarkan SNI 03-7112-2005 tentang kawasan keselamatan operasi penerbangan bahwa terhadap bangunan yang berupa benda tidak bergerak yang sifatnya sementara maupun tetap yang didirikan atau dipasang oleh orang atau yang telah ada secara alami, seperti: gedung-gedung, menara, cerobong asap, gundukan tanah, jaringan transmisi, bukit dan gunung yang menjadi penghalang atau *obstacle* saat ini tetap diperbolehkan sepanjang prosedur keselamatan operasi penerbangan terpenuhi. Hal terpenting yang diperhatikan adalah tidak adanya halangan pada kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan dan batas ketinggian *approach* seperti yang disebutkan pada poin 8.2 SNI 03-7112-2005 bahwa pada kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan sampai jarak 1.100 m dari ujung-ujung permukaan utama hanya digunakan untuk bangunan yang diperuntukkan bagi keselamatan operasi penerbangan dan benda tumbuh yang tidak membahayakan keselamatan operasi penerbangan.
3. Dari analisis pola pergerakan pesawat ruang udara, menunjukkan bahwa:
 - a. Sudut *lift off* ditentukan dengan menggunakan *angle of attack* untuk mendapatkan *take off run*.
 - b. Dengan take off distance 2300 meter dan mengalami lift off menuju ketinggian 35ft (10,7 m) ke arah runway 36 Setelah diperhitungkan dan mendapatkan TOR sepanjang 2189.21 meter dengan sudut lift off 5.2° .
 - c. Pada jarak 8 km dari ujung runway, elevasi muka tanah mencapai 140 m dari permukaan air laut, dan pada jarak tersebut, berdasarkan pola pergerakan pesawat, pesawat berada pada ketinggian 728 m diatas permukaan air laut. Maka dapat disimpulkan bahwa pesawat tidak

mengalami gangguan keselamatan operasional dan memenuhi jarak ijin pesawat terhadap topografi.

4. Pesawat Boeing 737 – 900 menempuh jarak 1790 nm dengan menghabiskan bahan bakar sebesar 1847.60 liter sehingga konsumsi bahan bakar pesawat per panjang destinasi yang ditempuh adalah 10.32 liter/*nautical miles*.
 - a. Operasional pesawat optimum pada jarak tempuh 1920nm (3555km) dengan mengkonsumsi bahan bakar sebesar 18720 liter dan payload sebesar 19265 kg.
 - b. Destinasi pesawat boeing 737-900 dapat ditambahkan tidak hanya pada radius 1790 nm (Bandara Sam Ratulangi Manado – Bandara Internasional Pudong Tiongkok melainkan dapat ditambahkan destinasi hingga 1920 nm (3555 km) dan dapat menambah destinasi ke beberapa bandara sebagai berikut.
 1. Bandara Internasional Jeju, Korea Selatan
 2. Bandara Internasional Port Hedland, Australia
 3. Bandara Internasional Cairns, Australia
 4. Bandara Internasional Darwin, Australia
 5. Bandara Internasional Taoyuan, Taiwan
 6. Bandara Internasional Ninoy Aquino, Philipina
 7. Bandara Internasional Suvarnabhumi, Thailand
 8. Bandara Internasional Kuala Lumpur, Malaysia

5.2. Saran

Penulis dalam hal ini juga menyampaikan beberapa saran untuk penelitian dan pengembangan Bandara Sam Ratulangi ke depannya. Saran tersebut antara lain sebagai berikut.

1. Dalam mengevaluasi kawasan keselamatan operasional penerbangan sebaiknya digunakan peta pengembangan wilayah di mana Bandara tersebut berada. Hal ini bertujuan guna mengetahui secara pasti tentang bangunan dan *obstacle* yang berada di sekitar kawasan bandara.
2. Dalam menentukan jarak penerbangan pada evaluasi berat pesawat yang berpengaruh terhadap ruang udara dalam tugas akhir ini tidak mempertimbangkan jalur pesawat sebenarnya dalam lingkaran penerbangan Bandara Sam Ratulangi Manado. Sehingga untuk penelitian selanjutnya, perlu memperhitungkan jalur pesawat di udara sehingga mendapatkan jarak tempuh pesawat yang mendekati sebenarnya, untuk menentukan konsumsi bahan bakar pesawat.
3. Dalam penelitian selanjutnya, sebaiknya berkoordinasi lebih baik lagi dengan pihak Angkasa Pura dan Bandara terkait supaya Jalur pesawat yang sesungguhnya dapat diperoleh dari data navigasi pergerakan pesawat pada masing-masing bandara.

DAFTAR PUSTAKA

- Angkasa Pura I. 2017. **Company Profile PT. Angkasa Pura I.** Bandara Sam Ratulangi. Manado.
- Ashford, Norman J. Mumayiz, Saleh. Wright, Paul H. 2011. **Airport Engineering.** Fourt Edition. Penerbit John Wiley & Sons, Inc. Canada.
- Badan Meteorologi dan Geofisika. 2017. **Data Klimatologi Kota Manado.** Manado.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. 2005. **SNI 03-7112-2005. Kawasan Keselamatan Operasi Bandara.** Departemen Perhubungan RI. Jakarta.
- Euro Control. 2016. **Aircraft Performance Database.** <URL:<https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx>>
- Federal Aviation Administration. 2005. **Advisory Circular 150/5325-4B, Runway Length Requirement for Airport Design.** US Department of Transportation. Washington, D.C.
- Horonjeff, Robert. Mc Kelvey, Francis X. Sproule, William J. Young, Seth B. Fifth Edition. 2010. **Planning and Design of Aiports.** PenerbitMc Graw – Hill Inc. New York.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). 1999. **Aerodromes-Annex 14 International Standards & Recommended Practices.** 3rd Edition. Canada.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). 1998. **Aerodromes Design And Operation dan Airport Services Manual (ICAO) Part 6, Control of Obstacles, Doc 9137-AN/898.** 2nd Edition. Canada.

- International Virtual Aviation Organization (IVAO). 2015. **Aircraft Weight**. Training Documentation Manager ErwanL'hoteller. Version 1.2.
- Keputusan Direktur Jendral Perhubungan Udara Nomor: SKEP/77/VI/2005. 2005. **Persyaratan Teknis. Pengoperasian Fasilitas Teknik Bandar Udara**. Jakarta.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor: 70 Tahun 2001. **Kebandar udaraan**. Jakarta.
- Priyanto, M. Eddy. 2005. **Panduan Praktis Membaca Dan Menggunakan Peta Rupa Bumi Indonesia**. Penerbit Pusat Pelayanan Jasa Dan Informasi BAKORSURTANAL. Jakarta.
- Swatton, Peter J. 2008. **Aircraft Performance Theory and Practice for Pilots-Second Edition**. PenerbitA John Willey & Son. United Kingdom.

1. DATA PERGERAKAN PESAWAT

a. TerminalKedatangan(Tanggal 14 Maret 2018)

DOMESTIK

No	Jam	Penerbangan	Dari	Maskapai	Pesawat
1	12:20 AM	ID6276	Jakarta (CGK)	Batik Air	A320
2	1:15 AM	ID7735	Jakarta (HLP)	Batik Air	A320
3	6:05 AM	ID6274	Jakarta (CGK)	Batik Air	B739
4	8:15 AM	SJ693	Ternate (TTE)	Sriwijaya Air	B738
5	8:25 AM	IW1173	Ternate (TTE)	Wings Air	AT75
6	8:45 AM	IW1164	Gorontalo (GTO)	Wings Air	AT42
7	8:55 AM	QG950	Jakarta (CGK)	Citilink	A320
8	9:05 AM	IW1161	Tahuna (NAH)	Wings Air	AT75
9	9:20 AM	ID6278	Jakarta (CGK)	Batik Air	B738
10	10:20 AM	GA602	Jakarta (CGK)	Garuda Indonesia	B738
11	10:30 AM	JT734	Makassar (UPG)	Lion Air	B739

12	10:55 AM	GA684	Makassar (UPG)	Garuda Indonesia	CRJX
13	11:35 AM	IW1179	Kao-Celebes Island (KAZ)	Wings Air	AT75
14	11:45 AM	JT929	Surabaya (SUB)	Lion Airlines	B739
15	11:45 AM	JT748	Surabaya (SUB)	Lion Air	B738
16	12:25 PM	IN603	Sorong (SOQ)	Nam Air	B735
17	12:35 PM	IW1163	Melanguane (MNA)	Wings Air	AT75
18	1:30 PM	GA635	Luwuk (LUW)	Garuda Indonesia	CRJX
19	2:00 PM	ID6270	Jakarta (CGK)	Batik Air	B738
20	2:00 PM	IW1171	Ternate (TTE)	Wings Air	AT75
21	2:05 PM	JT778	Makassar (UPG)	Lion Air	B739
22	2:20 PM	GA685	Ternate (TTE)	Garuda Indonesia	CRJX
23	3:15 PM	JT942	Balikpapan (BPN)	Lion Air	B738
24	3:30 PM	GA600	Jakarta (CGK)	Garuda Indonesia	B738
25	3:55 PM	IW1175	Ternate (TTE)	Wings Air	AT75

26	4:00 PM	IN699	Ternate (TTE)	Nam Air	B735
27	4:20 PM	IN695	Ambon (AMQ)	Nam Air	B735
28	4:30 PM	JT776	Denpasar (DPS)	Lion Air	B738
29	5:00 PM	JT736	Surabaya (SUB)	Lion Air	B739
30	5:20 PM	JT799	Sorong (SOQ)	Lion Air	B739
31	5:45 PM	GA626	Jakarta (CGK)	Garuda Indonesia	B738
32	6:00 PM	GA689	Gorontalo (GTO)	Garuda Indonesia	CRJX
33	6:20 PM	QG720	Makassar (UPG)	Citilink	A320
34	6:20 PM	QG307	Makassar (UPG)	Citilink	A320
35	6:45 PM	IW1156	Luwuk (LUW)	Wings Air	AT42
36	6:45 PM	IW1188	Luwuk (LUW)	Wings Air	AT75
37	6:50 PM	ID6272	Jakarta (CGK)	Batik Air	A320
38	7:25 PM	IW1166	Gorontalo (GTO)	Wings Air	AT75
39	10:20 PM	JT740	Makassar (UPG)	Lion Air	B739

40	10:20 PM	JT770	Jakarta (CGK)	Lion Air	B738
41	10:35 PM	GA624	Denpasar (DPS)	Garuda Indonesia	B738
42	10:45 PM	GA606	Jakarta (CGK)	Garuda Indonesia	B738
43	11:45 PM	IN669	Denpasar (DPS)	Nam Air	B735

INTERNASIONAL

No	Jam	Penerbang an	Dari	Maskapai	Pesawat
1	2:15 AM	JT2740	Guangzhou (CAN)	Lion Air	B739
2	6:25 AM	JT2750	Shanghai (PVG)	Lion Air	B739
3	1:05 PM	MI274	Singapore (SIN)	SilkAir	B738

b. Terminal Keberangkatan(Tanggal 14 Maret 2018)

DOMESTIK

No	Jam	Penerbangan	Ke	Maskapai	Pesawat
1	4:30 AM	IN602	Sorong (SOQ)	Nam Air	B735
2	6:00 AM	ID6277	Jakarta (CGK)	Batik Air	A320
3	6:00 AM	IW1189	Luwuk (LUW)	Wings Air	AT42
4	6:05 AM	IW1167	Gorontalo (GTO)	Wings Air	AT75
5	6:10 AM	GA607	Jakarta (CGK)	Garuda Indonesia	B738
6	6:15 AM	JT771	Jakarta (CGK)	Lion Air	B738
	6:45 AM	JT741	Makassar (UPG)	Lion Air	B739
8	6:55 AM	GA634	Luwuk (LUW)	Garuda Indonesia	CRJX
9	7:00 AM	IW1160	Tahuna (NAH)	Wings Air	AT75
10	7:35 AM	QG951	Jakarta (CGK)	Citilink	A320
11	7:45 AM	ID6271	Jakarta (CGK)	Batik Air	B739
12	7:50 AM	GA625	Denpasar (DPS)	Garuda Indonesia	B738

13	8:05 AM	JT796	Sorong (SOQ)	Lion Air	B739
14	9:00 AM	SJ692	Ternate (TTE)	Sriwijaya Air	B738
15	9:10 AM	IW1176	Kao-Celebes Island (KAZ)	Wings Air	AT75
16	9:30 AM	QG721	Makassar (UPG)	Citilink	A320
17	9:30 AM	QG306	Makassar (UPG)	Citilink	A320
18	10:00 AM	ID6279	Jakarta (CGK)	Batik Air	B738
19	10:00 AM	IW1162	Melanguane (MN A)	Wings Air	AT75
20	10:20 AM	JT775	Denpasar (DPS)	Lion Airlines	B738
21	11:05 AM	GA603	Jakarta (CGK)	Garuda Indonesia	B738
22	11:10 AM	JT735	Makassar (UPG)	Lion Air	B739
23	11:35 AM	GA684	Ternate (TTE)	Garuda Indonesia	CRJX
24	12:00 PM	IW1170	Ternate (TTE)	Wings Air	AT76
25	12:25 PM	JT749	Surabaya (SUB)	Lion Air	B738
26	1:10 PM	IN694	Ambon (AMQ)	Nam Air	B735

27	1:30 PM	IN698	Ternate (TTE)	Nam Air	B735
28	2:45 PM	IW1174	Ternate (TTE)	Wings Air	AT42
29	2:45 PM	JT777	Makassar (UPG)	Lion Air	B739
30	2:50 PM	ID6273	Jakarta (CGK)	Batik Air	B738
31	3:10 PM	GA685	Makassar (UPG)	Garuda Indonesia	CRJX
32	3:35 PM	GA688	Gorontalo (GTO)	Garuda Indonesia	CRJX
33	3:55 PM	JT941	Balikpapan (BPN)	Lion Air	B738
34	4:15 PM	GA601	Jakarta (CGK)	Garuda Indonesia	B738
35	4:40 PM	Q91165	Gorontalo (GTO)	Wings Air	AT75
36	5:20 PM	ID7734	Jakarta (HLP)	Batik Air	A320
37	5:25 PM	GA681	Ambon (AMQ)	Garuda Indonesia	CRJX
38	5:40 PM	JT737	Surabaya (SUB)	Lion Air	B739
39	5:45 PM	IN668	Denpasar (DPS)	Nam Air	B735
40	6:50 PM	GA627	Jakarta (CGK)	Garuda Indonesia	B738

41	7:40 PM	ID6275	Jakarta (CGK)	Batik Air	A320
----	---------	--------	---------------	-----------	------

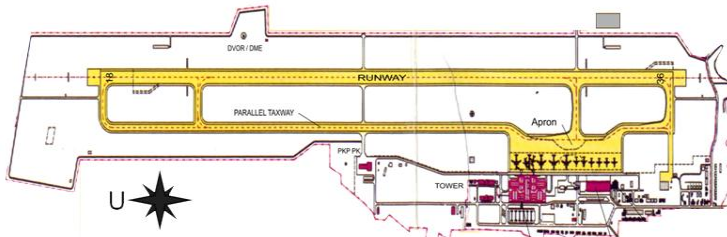
INTERNASIONAL

No	Jam	Penerbangan	Ke	Maskapai	Pesawat
1	1:50 PM	MI273	Singapore (SIN)	SilkAir	B738
2	6:40 PM	JT2743	Changsha (CSX)	Lion Air	B739

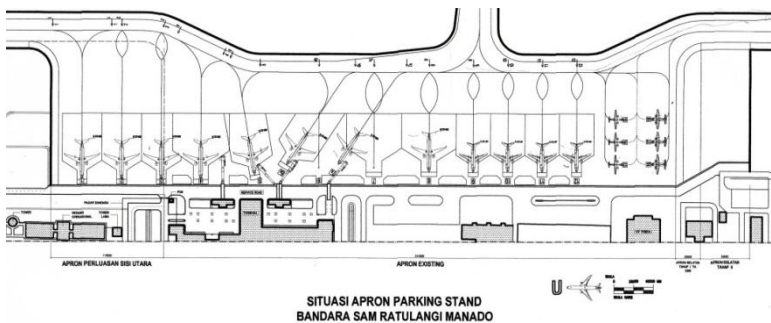
c. DATA PESAWAT BANDARA SAM RATULANGI

Aircraft	FAA Code	MTOW (lbs)	Approach Speed (knot)	Wingspan (ft)	Tail Height (ft)	ARC	Number of Passenger
Airbus A 320	A320	162,040	138	111.30	38.90	4C	164
Boeing 737 - 900	B739	187,000	144	112.58	41.17	4C	177
Boeing 737 - 800	B738	174,000	141	112.58	41.17	4C	162
Boeing 737 - 500	B735	136,000	140	94.75	36.58	4C	149
Bombardier CRJ-1000ER	CRJX	91,800	126	85.89		4C	104
ATR 42	AT42	35,605	105	80.42	24.92	3B	48
ATR 75	AT75	44,070	105	88.75	25.01	3B	70

2. LAYOUT APRON BANDARA



Gambar *Layout* Bandara Sam Ratulangi Manado



Gambar *Layout Apron* Bandara Sam Ratulangi Manado

Tabel Karakteristik *Runway* Bandara Sam Ratulangi Manado

Karakteristik Runway	
Arah Runway	18 / 36
Panjang Runway (m)	2650
Lebar Runway	45
Konstruksi	BetonAspal

3. DATA KLIMATOLOGI

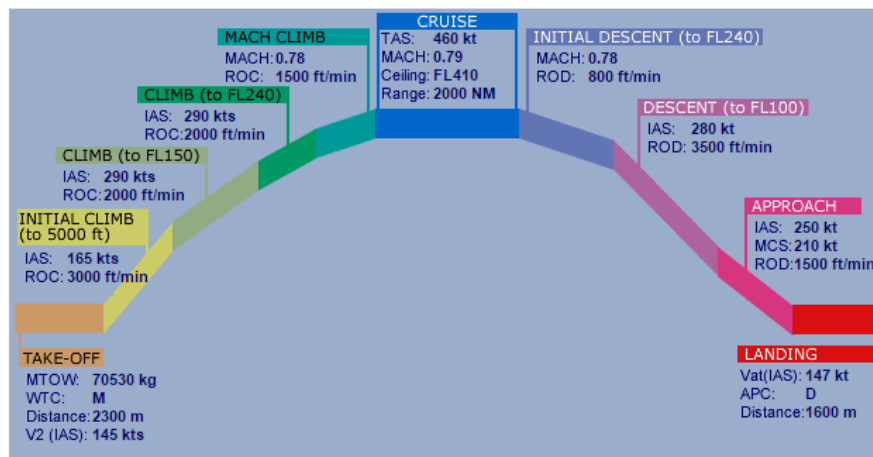
a. Data Temperature

DATA TEMPERATUR RATA - RATA (C)							
BULAN	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
JAN	25.3	25.6	25.6	25.7	25.7	26.0	26.2
FEB	25.7	25.8	25.7	25.3	25.3	26.0	26.1
MAR	25.5	25.8	26.6	25.9	25.9	26.0	26.4
APR	26.2	25.9	26.3	26.6	26.6	27.0	27.0
MEI	26.7	26.9	26.8	27.6	27.6	27.0	27.5
JUN	26.8	27.1	27.3	27	27	26.0	26.9
JUL	27.3	26.6	26.2	27.9	27.9	27.0	27.4
AGST	27.6	27.6	26.7	28	28	28.0	28.1
SEPT	26.6	27.6	26.9	28.3	28.3	27.0	27.7
OKT	26.6	27.1	26.7	28.6	28.6	27.0	27.7
NOP	25.9	26	25.9	26.3	26.3	27.0	26.9
DES	25.7	25.8	26	26.5	26.5	26.0	26.5
JUMLAH	315.9	317.8	316.7	323.7	323.7	320.0	324.4
RATA²	26.3	26.5	26.4	27.0	27.0	26.7	27.0

b. DATA CURAH HUJAN

Bulan	Banyaknya Curah Hujan di Manado (mm ³)						
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Jan	332.2	312	527	721	464	229	295.33
Feb	398.5	267	490	262	258	155	229
Mar	485.7	540	107	176	52	26	155
Apr	340.3	302	362	101	102	223	26
Mei	308	246	318	302	95	348	223
Jun	214.9	163	116	254	189	376	348
Jul	31.3	204	350	48	12	272	376
Agst	86	63	327	133	0	64	272
Sept	113	68	161	89	0	641	64
Okt	136	119	201	59	1	164	641
Nov	412.9	412	309	249	337	402	164
Des	476.1	442	452	961	297	644	402
Rata-Rata	277.9	262	310	279.6	150.58	255.3	644

4. Aircraft Performance

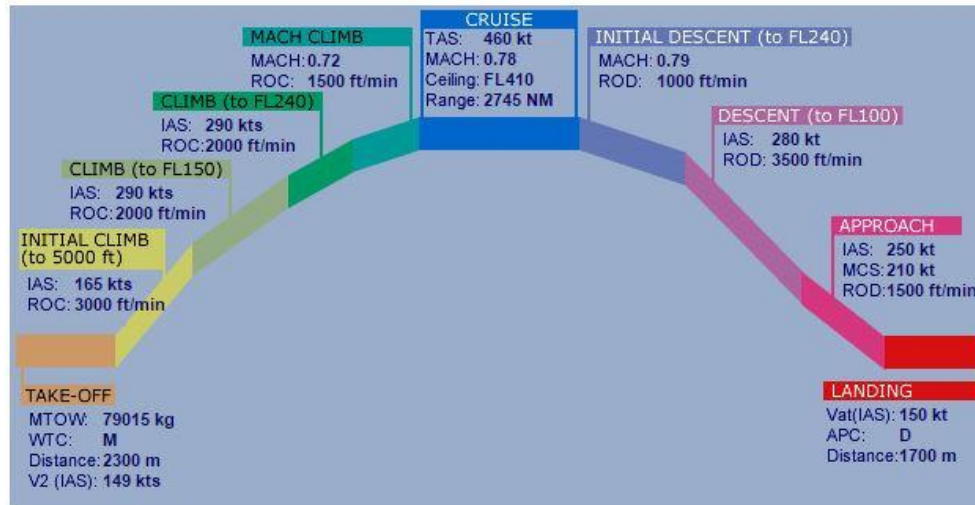


Lampiran B.1. *Flash* pesawat Boeing 737-800

Sumber : Aircraft Performance Database. 2016.

URL: <https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx?>

Boeing 737-800	Tinggi	Beda Tinggi	IAS			ROC	jarak			sudut	Jarak Total
	1	2	3			4	5			6	7
	ft	ft	kts	mach	ft/min	ft/min	nm	ft	m	degree	m
Takeoff	0	0	145		14684.2				2300		2300
Initial Climb	5000	5000	165		16709.6	3000	4.58	27848.88	8354.67	10.18	10654.67
Climb	15000	10000	290		29368.3	2000	24.17	146839.57	44051.87	3.90	54706.54
	24000	9000	290		29368.3	2000	21.75	132155.61	39646.68	3.90	94353.22
Mach Climb	41000	17000		0.78	52665.4	1500	0	596874.15	179062.24	1.63	273415.46
Cruise	41000	0		0.78	52665.4	460	2000	0.00	3704000.00	180.00	3977415.46
Initial Descent	24000	17000		0.78	52665.4	800	0	1119139.03	335741.71	0.87	4313157.17
descent	10000	14000	290		29368.3	3500	19.33	117471.65	35241.50	6.80	4348398.67
approach		10000	210		21266.7	1500	23.33	141776.13	42532.84	4.03	4390931.51
Landing	0	0	140		14177.8		0	0	1600.00	0.00	4392531.51

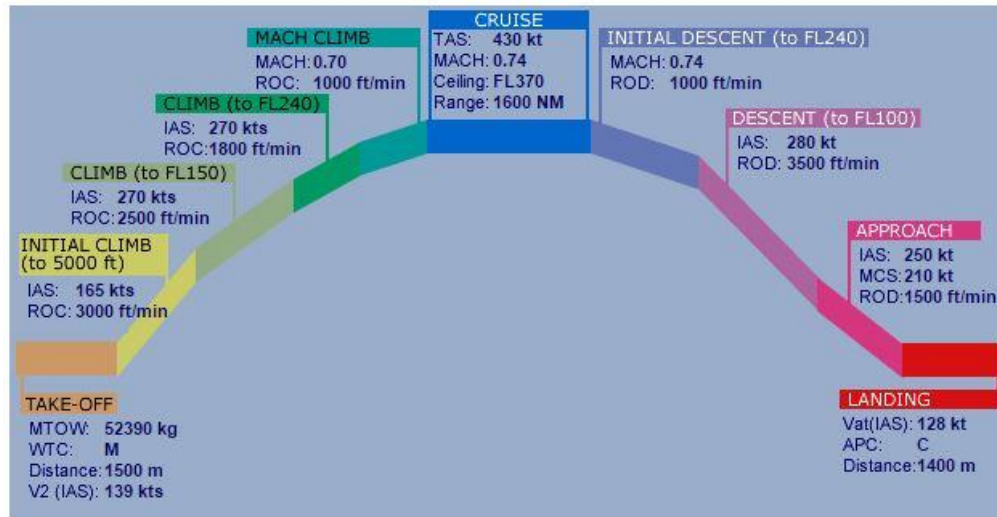


Lampiran B.2. *Flash* pesawat Boeing 737-900

Sumber : Aircraft Performance Database. 2016.

<URL:<https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx?>>

Boeing 737-900	Tinggi	Beda Tinggi	IAS			ROC	jarak			sudut	Jarak Total
	1	2	3			4	5			6	7
	ft	ft	kts	mach	ft/min	ft/min	nm	ft	m	degree	m
Takeoff	0	0	149		15089.23				2300		2300
Initial Climb	5000	5000	165		16709.55	3000	24.17	146839.57	44051.87	1.95	46351.87
Climb	15000	10000	290		29368.30	2000	29.00	176207.48	52862.24	3.25	99214.11
	24000	9000	290		29368.30	1500	0.00	176209.80	52862.94	2.92	152077.05
Mach Climb	41000	17000		0.72	48614.18	1000	0.00	826441.13	247932.34	1.18	400009.39
Cruise	41000	0		0.785	53002.96	460	2745.00	0.00	5083740.00	180.00	5483749.39
Initial Descent	24000	17000		0.79	53340.56	1000	19.33	906789.57	272036.87	1.07	5755786.26
descent	10000	14000	290		29368.30	3500	23.33	141776.13	42532.84	5.64	5798319.10
approach		10000	210		21266.70	1500	23.33	141776.13	42532.84	4.03	5840851.94
Landing	0	0	145		14684.15		0.00	0.00	1700.00	0.00	5842551.94

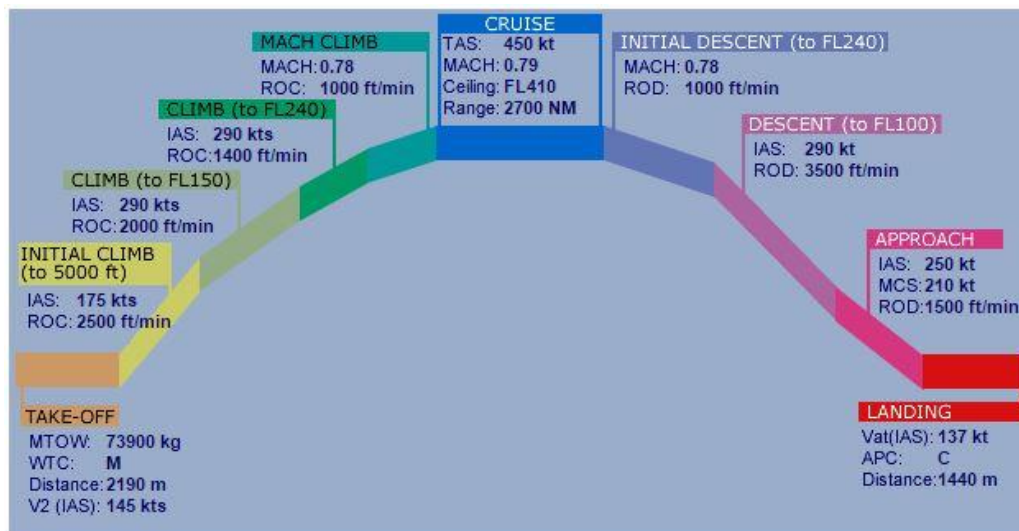


Lampiran B.3. *Flash* pesawat Boeing 737-500

Sumber : Aircraft Performance Database. 2016.

<URL:<https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx?>>

Boeing 737-500	Tinggi	Beda Tinggi	IAS			ROC	jarak			sudut	Jarak Total
	1	2	3			4	5			6	7
	ft	ft	kts	mach	ft/min	ft/min	nm	ft	m	degree	m
Takeoff	0	0	139		14076.53				1500		1500
Initial Climb	5000	5000	165		16709.55	3000	4.58	27848.88	8354.67	10.18	9854.67
Climb	15000	10000	270		27342.90	2500	18.00	109370.16	32811.05	5.22	42665.71
	24000	9000	270		27342.90	1800	22.50	136712.70	41013.81	3.77	83679.52
Mach Climb	37000	13000		0.7	47263.79	1000	0.00	614429.27	184328.78	1.21	268008.30
Cruise	37000	0		0.745	50302.18	430	1600.00	0.00	2963200.00	180.00	3231208.30
Initial Descent	24000	13000		0.74	49964.58	1000	0.00	649539.51	194861.85	1.15	3426070.16
descent	10000	14000	270		27342.90	3500	18.00	109370.16	32811.05	7.29	3458881.21
approach		10000	210		21266.70	1500	23.33	141776.13	42532.84	4.03	3501414.05
Landing	0	0	128		12962.56		0	0	1400.00	0.00	3502814.05



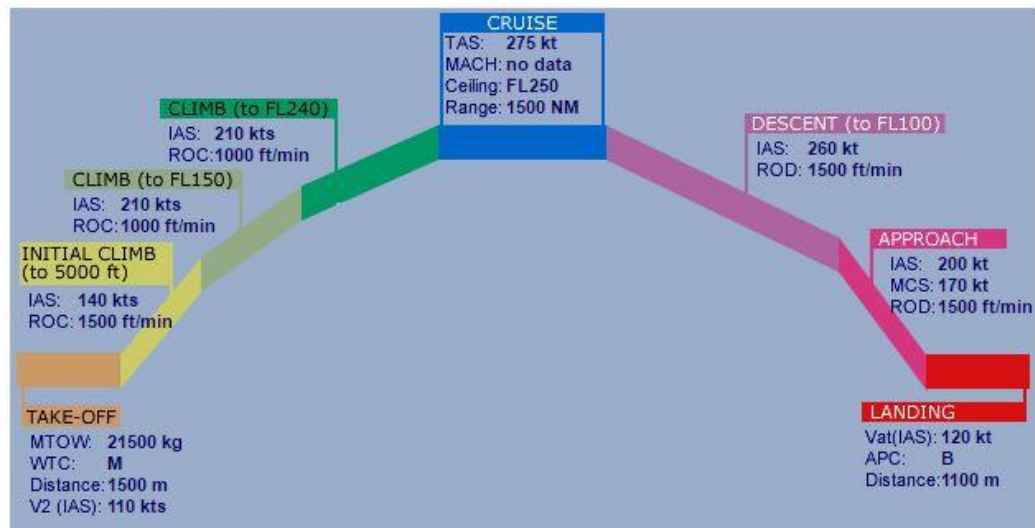
Lampiran B.5. *Flash* pesawat Airbus A320

Sumber : Aircraft Performance Database. 2016.

<URL:<https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx?>>



Airbus A320	Tinggi	Beda Tinggi	IAS			ROC	jarak			sudut	Jarak Total
	1	2	3			4	5			6	7
	ft	ft	kts	mach	ft/min	ft/min	nm	ft	m	degree	m
Takeoff	0	0	145		14684.15				2190		2190
Initial Climb	5000	5000	175		17722.25	2500	5.83	35444.03	10633.21	8.03	12823.21
Climb	15000	10000	290		29368.30	2000	24.17	146839.57	44051.87	3.90	56875.08
	24000	9000	290		29368.30	1400	31.07	188793.73	56638.12	2.73	113513.20
Mach Climb	41000	17000		0.87	58742.14	1000	0.00	998616.36	299584.91	0.98	413098.11
Cruise	41000	0		0.78	52665.37	450	2700.00	0.00	5000400.00	0.00	5413498.11
Initial Descent	24000	17000		0.78	52665.37	1000	0.00	895311.22	268593.37	1.09	5682091.47
descent	10000	14000	290		29368.30	3500	19.33	117471.65	35241.50	6.80	5717332.97
approach	10000	10000	250		25317.50	1500	27.78	168781.11	50634.33	3.39	5767967.30
Landing	0	0	137		13873.99		0.00	0.00	1440.00	0.00	5769407.30

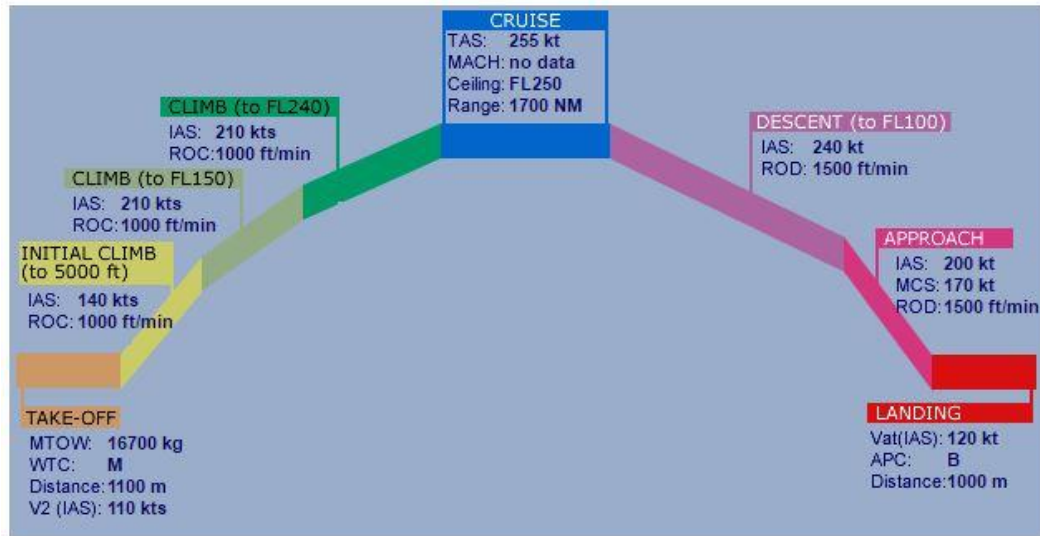


Lampiran B.6. *Flash* pesawat ATR 75

Sumber : Aircraft Performance Database. 2016.

<URL:<https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx?>>

ATR 75	Tinggi	Beda Tinggi	IAS			ROC	jarak			sudut	Jarak Total
	1	2	3			4	5			6	7
	ft	ft	kts	mach	ft/min	ft/min	nm	ft	m	degree	m
Takeoff	0	0	110		11139.7				1500.00		1500.00
Initial Climb	5000	5000	140		14177.8	2500	4.67	28355.23	8506.57	10.00	10006.57
Climb	15000	10000	210		21266.7	2000	17.50	106332.10	31899.63	5.37	41906.20
Climb	24000	9000	210		21266.7	1400	22.50	136712.70	41013.81	3.77	82920.01
Cruise	25000	0	275		27849.25	0	1500.00	0.00	2778000.00	0.00	2860920.01
descent	10000	14000	260		26330.2	3500	17.33	105319.41	31595.82	7.57	2892515.83
approach		10000	200		20254	1500	22.22	135024.89	40507.47	4.24	2933023.30
Landing	0	0	120		12152.4		0.00	0.00	1100.00	0.00	2934123.30



Lampiran B.7. *Flash* pesawat ATR 42

Sumber : Aircraft Performance Database. 2016.

<URL:<https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.as>

ATR 42	Tinggi	Beda Tinggi	IAS			ROC	jarak			sudut	Jarak Total
	1	2	3			4	5			6	7
	ft	ft	kts	mach	ft/min	ft/min	nm	ft	m	degree	m
Takeoff	0	0	110		11139.7				1100		1100
Initial Climb	5000	5000	140		14177.8	1000	11.67	70888.07	21266.42	4.03	22366.42
Climb	15000	10000	220		22279.4	1000	36.67	222791.07	66837.32	2.57	89203.74
Climb	24000	9000	220		22279.4	1000	33.00	200511.96	60153.59	2.57	149357.33
Cruise	25000	0	255		25823.85	0	1700.00	0.00	3148400.00	0.00	3297757.33
descent	10000	14000	240		24304.8	1500	37.33	226841.81	68052.54	3.53	3365809.87
approach		10000	200		20254	1500	22.22	135024.89	40507.47	4.24	3406317.34
Landing	0	0	120		12152.4		0.00	0.00	1000.00	0.00	3407317.34



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	:	
NAMA MAHASISWA	:	Halim Prasetyo tl
NRP	:	031111 0000 028
JUDUL TUGAS AKHIR	:	Evaluasi Ketersediaan Ruang Udara dalam kaitannya dengan KKOP di Bandara Sam Ratulangi
TANGGAL PROPOSAL	:	
NO. SP-MMTA	:	

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	7/6/18		Masuk Bab 4	lg
2	11/6/18	-Revisi Proposal	Perhitungan Pola Pergerakan Pesawat	lg
	13/6/18	-Asistensi KKOP untuk wilayah Bandara		lg
3		- Pola Pergerakan Pesawat	- Bab IV selesai	
		- Pengaruh Berat Pesawat terhadap Ruang Udara	- cek dari awal	
4	22/6/18	- Bab IV	Cek Tugas akhir seluruhnya	lg
		- Penentuan Destinasi tambahan		
5	25/6/18	- Cek Tugas akhir seluruhnya	Melengkapi yang masih direvisi	lg
		- Penyerohan		

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Halim Prasetyo Hutomo atau sering dipanggil Halim. Dilahirkan di Magetan, 3 Pebruari 1993. Penulis menempuh pendidikan dasar mulai dari MIN Kedungguwo, SMPN 1 Magetan, dan SMAN 3 Madiun. Penulis kemudian melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Ssipil, Lingkungan, dan Kebumian Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri) Undangan pada Tahun 2011.

Selama menempuh pendidikan di Teknik Sipil ITS, penulis aktif di bidang organisasi dan kompetisi. Pada bidang akademik, penulis pernah beberapa kali menjuarai kompetisi Karya Tulis Ilmiah di Tingkat Nasional. Pada bidang organisasi, penulis aktif sebagai Ketua Divisi CITRA (Civil ITS Tradisi Juara) Sipil ITS dimana organisasi yang menangani tentang kesiapan serta pelatihan dalam berkompetisi Karya Tulis Ilmiah di Bidang Teknik Sipil. Penulis dapat dihubungi melalui email halimprasetyo37@gmail.com